

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки
Кафедра електронних приладів та пристроїв**

«На правах рукопису»
УДК 543.27

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

Л.Д. Писаренко
“ ” 2019 р.

Дисертація
на здобуття ступеня магістра
з напрямку підготовки **171 – Електроніка**
на тему **«Розробка та дослідження аналізатора
метану»**

Виконав:

студент 5 курсу, гр. ДЕ-81мп

Гребенюк В.С.

Керівник:

доцент кафедри ЕП та П, к.т.н.

Цибульський Л.Ю.

Нормоконтроль:

доцент кафедри ЕП та П, к.т.н.

Чадюк В.О.

Рецензент:

доцент кафедри ЗТ і РІ, к.т.н.

Трапезон К. О.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ-2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
Кафедра електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Напрямок підготовки (програма професійного спрямування)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
за освітньо-науковою програмою **Електронні прилади та пристрої**
Спеціальність – **171 – Електроніка**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Л.Д.Писаренко
«_____» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Гребенюку Владиславу Сергійовичу

- 1. Тема дисертації «Розробка та дослідження аналізатора метану»**
і керівник роботи Цибульський Леонід Юрійович, доцент, к.т.н, доцент.
затверджені наказом по університету від 7 «листопада» 2019 р., № 3859-с
- 2. Термін подання студентом роботи :** «12» грудня 2019 р.
- 3. Об'єкт дослідження:** аналізатор метану.
- 4. Предмет дослідження:** Вимірювання концентрації газу у просторі, газ метан, довжина хвиль 2,5-5,5 нм, Джерело живлення – 9 В. Постійний струм – 20 мА. Тактова частота 24 МГц.
- 5. Зміст роботи:** Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по приладам що вимірюють концентрацію газу у просторі. Розробка мікроконтролерного вимірювача газу метану; Аналіз технічного завдання; Розробка та огляд структурної схеми; розробка електричної принципової схеми; Моделювання в програмному середовищі; список науково-технічної літератури.
- 6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**
Ілюстрації електричної та структурної схеми; Ілюстрації графіків та характеристик мікроконтролера; Креслення схеми електричної принципової; Креслення структурної схеми; плакат з формулами та

графіками;

7. Перелік публікацій: Гребенюк В.С., Цибульский Л.Ю. Перспективи розвитку та застосування аналізаторів метану // матеріали XIV наук.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки» – К.: НТУУ «КПІ», 2020.

8. Дата видачі завдання: 12.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по методам та обладнанню детектування газів	5.10.2019	
2	Дослідження спектральних характеристик газу. Вибір довжини хвилі для визначення газу	15.10.2019	
3	Загальний метод оцінки надійності радіоелектронної апаратури.	30.10.2019	
4	Компоненти з яких складається інфрачервоний газоаналізатор.	15.10.2019	
5	Оформлення графічної частини, пояснювальної записки, плакатів, підготовка доповіді.	5.12.2019	
6	Підписання	13.12.2019	
7	Захист	18.12.2019	

Студент гр. ДЕ-81мп

В.С. Гребенюк

Керівник роботи

Л.Ю. Цибульский

Р Е Ф Е Р А Т

«Розробка та дослідження аналізатора метану»

Магістерська дисертація напряму підготовки **171 – Електроніка** спеціалізації **«Електронні прилади та пристрої»**. **Гребенюк Владислав Сергійович**. «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-81мп. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 75 с., іл. 19, табл. 8.

Ключові слова: газоаналізатор метану, інфрачервоний, середньохвильовий, антимонід індію.

Короткий зміст роботи: у даній роботі розглянуто прилад, що детектує кількість газу метану у повітрі та його розповсюдження у просторовому розподілі.

АНОТАЦІЯ

У цій роботі був розроблений прилад, що вимірює концентрацію газу у просторі, газ, що досліджується – це газ метан.

Для виявлення газу метану був досліджений сенсор, що вироблений з антимоніду індію, що реагує на довжини хвиль 2,5-5,5 нм. У роботі представлений розрахунок надійності приладу, описані технологічні параметри компонентів, що використовуються у пристрої.

Досліджувана установка може забезпечити наступні параметри:

- Потужність приладу 600 мВт
- Частота роботи 24МГц
- Температура газу 273 К
-
-
- S U M M A R Y

In this work, a device was developed to measure the concentration of gas in space, the gas being investigated is methane gas.

To detect methane gas, a sensor made of indium antimonide reacting at 2.5-5.5 nm was investigated. The paper presents the calculation of the reliability of the device, describes the technological parameters of the components used in the device.

The test setup can provide the following parameters:

- 600 mW power
- 24 MHz frequency
- Gas temperature 273 K

ЗМІСТ

ЗМІСТ	6
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВВЕДЕННЯ.....	9
1 Методи та обладнання детектування газів	10
1.1 Метан як досліджуваний газ	10
1.2 Огляд принципів роботи датчиків запахів.....	10
• інфрачервоні (оптичні);.....	10
• термохімічні (каталітичні);.....	10
• напівпровідникові;.....	11
• фотоіонізаційні;.....	11
• електрохімічні.	11
1.3 Типи газових аналізаторів	14
1.3.1 Термокондуктометричні газоаналізатори.....	15
1.3.2 Термохімічні газоаналізатори	15
1.3.3 Магнітні газоаналізатори.....	15
1.3.5 Інфрачервоні газоаналізатори	17
1.3.6 Ультрафіолетові газоаналізатори.....	18
1.3.7 Люмінесцентні газоаналізатори.....	19
1.3.8 Фото-колориметричні газоаналізатори	20
1.3.9 Електрохімічні газоаналізатори	21
1.3.10 Іонізаційні газоаналізатори	22
1.3.11 Оптичні та оптико-акустичні газоаналізатори	23
1.3.12 Оптичні хімічні сенсори	24
1.3.13. Хроматографічні газоаналізатори.....	25
1.3.14. Каталітичний детектор (пелістор)	27
1.4 Висновки до розділу	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАНА.....	30
2.1 Спектр дослідження газу	30
2.2. Вибір довжини хвилі для визначення газу	32
2.3. Інфрачервоні (ІЧ-камери).....	33
2.4. Проміжний інфрачервоний	36
2.5. Технологія Midwave Infrared	37
2.6. Матеріали для інфрачервоного детектування	38
2.6.1. InSb	38

					МРП. 171. 081.003 ПЗ					
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка та дослідження аналізатора метану			Літ	Арк	Анквiвiв
Розроб		Гребенюк								
Перевiр		Цибульський							6	75
Реценз.								«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-81мп		
Н. Контр		Чадюк В.О.								
Затверд		Писаренко Л.								

2.6.2. HgCdTe	41
2.6.3. PbSe	42
2.6.4. PtSi	44
2.7. Insb сенсор	46
2.8. Висновки	49
3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	50
3.1. Загальний метод оцінки надійності радіоелектронної апаратури	50
3.2 Розрахунок надійності приладу, що розробляється	52
3.3. Висновки	58
4. ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА	59
4.1. Атмосферні вікна	59
4.2. Дивлячись глибше на оптичні знімки газу	61
4.3 Компоненти з яких складається інфрачервоний газоаналізатор	66
4.4. Висновки:	71
ВИСНОВКИ:	72
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	74
ДОДАТКИ	77
Додаток А Лістинг програми вмикання екрану	77
ДОДАТОК Б	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НДІМ - не дисперсійного інфрачервоного методу

ФІД-фото-іонізаційних датчиків

ІЧ-інфра-червоний

ЗНГ-зріджений нафтовий газ

ЛОР-летючі органічні речовини

ДВУ-джерелом вакуумного ультрафіолетового

ВУХ-вибухова ударна хвиля

РРМ-частках на мільйон

ПІ-поверхнева іонізація

УФ-ультра фіолет

ГХ-газова хроматографія

ДПР-датчик положення ротора

ПГС-повірочна газова суміш

АТВ-аналізатор токсичних випарів

MWIR-середньохвильовий інфрачервоний

					МП.171.081.003 ПЗ	Арк
						8
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВВЕДЕННЯ

Газоаналізатор - прилад, що визначає наявність та вимірює концентрацію одного чи багатьох складників в сумішах газу . Кожен аналізатор газу призначений для вимірювання тільки певних складників та компонент на тлі конкретної газової суміші. Поряд з використанням окремих аналізаторів газу будуються системи, які об'єднують в групи та створюють взаємопов'язані системи для вимірювання концентрації у певних ділянках простору .

Метан (CH_4) - безбарвний газ без запаху та найпростіший з усіх молекул вуглеводнів . В атмосфері Землі CH_4 присутній майже усюди вмістом приблизно 2 частин на мільйон за обсягом (ppmv) та викликає значну стурбованість для навколишнього середовища, оскільки це парниковий газ та зростає в концентрації зі швидкістю близько 1% на рік . Хоча CH_4 є нетоксичним, його присутність у ґрунтовому газі викликає занепокоєння щодо навколишнього середовища, оскільки він може діяти як задущливе та є вибухонебезпечним при наявності в повітрі концентрацій від 5 до 15 відсотків.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						9
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Методи та обладнання детектування газів

1.1 Метан як досліджуваний газ

Метан - є найпростішою органічною сполукою вуглецю з воднем, природний безбарвний газ без запаху, хімічна формула - CH_4 . [1]

Зустрічається в осадовій породі чи чохлах земної кори у вигляді вільних скупчень, в розчиненому (в нафті, пластових та поверхневих водах), розсіяному, сорбованому породами та органічна речовиною та газогідратному станах. [1]

Метан (CH_4) - безбарвний газ без запаху та найпростіший з усіх молекул вуглеводнів . В атмосфері Землі CH_4 присутній майже усюди вмістом приблизно 2 частин на мільйон за обсягом (ppmv) та викликає значну стурбованість для навколишнього середовища, оскільки це парниковий газ та зростає в концентрації зі швидкістю близько 1% на рік . Хоча CH_4 є нетоксичним, його присутність у ґрунтовому газі викликає занепокоєння щодо навколишнього середовища, оскільки він може діяти як задушливе та є вибухонебезпечним при наявності в повітрі концентрацій від 5 до 15 відсотків. Визнаючи потенційну небезпеку, пов'язану з приповерхневим CH_4 . [2]

1.2 Огляд принципів роботи датчиків запахів

Принцип роботи датчика є одним з найважливіших властивостей, так як від нього залежать спектр визначених речовин, час визначення, порогові концентрації, вартість і ін. Параметри. Будемо орієнтуватися на цю класифікацію датчиків за принципом роботи1:

- інфрачервоні (оптичні);
- термохімічні (каталітичні);

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						10
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- напівпровідникові;
- фотоіонізаційні;
- електрохімічні.

Робота інфрачервоних датчиків заснована за принципом не дисперсійного інфрачервоного методу (НДІМ). Принцип роботи датчика, що визначає тип і концентрацію газу, заснований на зміні інтенсивності ІЧ випромінювання до і після поглинання в інфрачервоному детекторі з Центральною виборчою чутливістю. Детектори використовують дві хвилі, одна з яких (активна) поглинається газом, а друга (опорна) - немає. Для активної довжини хвилі вимірюється рівень сигналу, який потім порівнюється з еталонним значенням. Ця інформація обробляється з використанням сучасних алгоритмів. Результатом такої обробки є лінійний вихідний сигнал концентрації газу.

Робота датчиків такого типу не залежить від стану навколишнього середовища. Вони стійкі до вібрацій, перешкод, силікатів. Так само, датчики мають високу точність, чутливість, надійністю і швидким відгуком. Датчик не схильний до «перенасичення», т. Е. При великих концентраціях не відбувається збій роботи датчика або зсув порогових значень. Обслуговування датчиків, при правильній установці, мінімально - перевірка нульового значення без калібрування необхідна один раз в рік, що значно спрощує технічне обслуговування пристроїв з сенсорами такого типу, але не виключає зовсім. Недоліками використання інфрачервоних датчиків є початкові витрати на їх покупку, ідентифікація тільки конкретних газів (метан і CO_2).

Робота термохімічних датчиків заснована на вимірі реакції окислення газу. Застосовуються для знаходження концентрацій горючих газів в просторі. Вплив газу на каталітичний датчик призводить до горіння газу без утворення полум'я, внаслідок чого змінюється температура кулькового датчика, що тягне за собою зміну опору. Далі отримане значення опору

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						11
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

порівнюється з еталонним значенням опору датчика, що не піддавалося впливу навколишнього середовища. Концентрація газу лінійно залежить від значення опору, чим вище значення, тим вище концентрація. Концентрацію газу обчислюють шляхом відстеження змін опору.

Принцип роботи термохімічних датчиків має ряд переваг: широкий спектр ідентифікованих речовин (метан, зріджений нафтовий газ (ЗНГ), пропан і інші горючі гази), робота датчиків не залежить від стану навколишнього середовища, невисока вартість. Так само, є ряд істотних недоліків: схильні до дії силікатів, можливо перенасичення детектуємих газом внаслідок впливу високих концентрацій, в результаті чого датчик може вийти з ладу, або можуть бути зміщені порогові значення. Через суттєвих недоліків рекомендується проводити калібрування нуля і порогових значень датчика один раз в квартал, що істотно збільшує вартість обслуговування.

Напівпровідникові датчики призначені для визначення сірководневих сполук. Відмітна конструкторська особливість датчиків в тому, що на кремнієву підкладку наносяться шари нагрівальної плівки. Також як і у каталітичних датчиків, їх дія заснована на властивостях поглинання газу поверхнею нагрітого оксиду. В робочому стані, коли присутній інший газ, що викликає окислювально- відновну реакцію, концентрація негативних іонів кисню зменшується. Це призводить до зменшення граничної напруги, і, як наслідок, до зменшення опору датчика. Чутливий матеріал датчика має низьку провідність в присутності чистого повітря. При появі детектуємого горючого газу, провідність датчика зростає з ростом концентрації цього газу. Мають широкий спектр детектуємих речовин: горючий газ, природний газ, коксовий газ, водень, пари спирту, озон, оксид вуглецю, аміак, бензол, сірководень, летючі органічні речовини (ЛОР). Напівпровідникові датчики прості, надійні і мають високий ступінь чутливості. Широко використовуються в детекторах побутового газу. У промисловості не

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						12
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовуються, тому що не досить точні при визначенні окремих газів, чутливі до атмосферної температури і вологості, повільно проходить процес очищення після ідентифікації газу. Рекомендується проводити перевірку датчиків і калібрування порогових значень один раз в квартал. тому що не досить точні при визначенні окремих газів, чутливі до атмосферної температури і вологості, повільно проходить процес очищення після ідентифікації газу. Рекомендується проводити перевірку датчиків і калібрування порогових значень один раз в квартал. тому що не досить точні при визначенні окремих газів, чутливі до атмосферної температури і вологості, повільно проходить процес очищення після ідентифікації газу. Рекомендується проводити перевірку датчиків і калібрування порогових значень один раз в квартал.

Детектування речовин фото-іонізаційний сенсорами здійснюється під дією ультрафіолетового випромінювання. Газ проходить через сенсори датчика і молекули органічних і неорганічних речовин іонізуються. Робота фото- іонізаційних датчиків (ФІД) заснована на вимірюванні струму, викликаного іонізацією молекул газів і парів фотонами, випромінюваними джерелом вакуумного ультрафіолетового (ДВУ) випромінювання - ДВУ-лампи.

ДВУ-випромінювання через вікно лампи виходить в іонізаційну камеру, де встановлені два електроди, один з яких з'єднаний з джерелом живлення, а інший з електрометром. У іонізаційну камеру подається проба. Під дією випромінювання компоненти з енергією іонізації, меншою енергії фотонів, що випускаються ДВУ-лампкою, іонізуються. В іонізаційній камері протікає струм, величина якого пропорційна концентрації домішок. При цьому компоненти чистого повітря, мають більш високі потенціали іонізації, що не іонізуються. Фото-іонізаційні датчики можуть детектувати невелика кількість газів: метан, алкани і діоксид вуглецю.

Електрохімічні датчики дозволяють визначати концентрацію газів у

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						13
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

суміші за значенням електричної провідності розчину, який поглинув цей газ. Датчики даного типу застосовуються для виявлення токсичного газу (водень, фосфін, аміак, чадний газ, оксид сірки, оксид азоту, хлор, сірководень і ін.) В виробничих процесах. Визначення концентрації газу відбувається шляхом вимірювання струму з електрохімічного принципом. На робочому електроді всередині електричної осередку проходить процес електрохімічного окислення. Струм, який виробляється при реакції детектируемого газу, прямо пропорційний концентрації газу. Датчики відрізняються високою ефективністю, надійністю, чутливістю і невисокою ціною. Так само, датчики не реагують на зміни вологості, не вимагають нагрівання.

Всі принципи роботи датчиків мають свої позитивні і негативні сторони.

Залежно від сфери застосування вибирають той чи інший тип датчика.

Методи детекції розвиваються, в останні кілька років з'явилися датчики на основі нанотрубок, які здатні виявити речовини в найменших концентраціях. Дослідження в цьому

1.3 Типи газових аналізаторів

Газоаналізатори - прилади, що визначають наявність та вимірюють концентрацію одного чи багатьох складників в сумішах газу . Кожен аналізатор газу призначений для вимірювання тільки певних складників та компонент на тлі конкретної газової суміші. Поряд з використанням окремих аналізаторів газу будуються системи, які об'єднують в групи та створюють взаємопов'язані системи для вимірювання концентрації у певних ділянках простору .

Класифікація газоаналізаторів ведеться за різними критеріями пневматичні, магнітні, механіко-електричні, оптичні, термокондуктометричні, термохімічні, інфрачервоні, люмінесцентні, фото-калометричні, хімічні, іонізаційні, електрохімічні .

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						14
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.1 Термокондуктометричні газоаналізатори

Дія їх базується у зміні теплопровідності в залежності від складу газової суміші.

Термокондуктометричні аналізатори газу частіше за все використовуються тоді і тільки тоді, коли потрібні вимірювати лише одну складову газу, тобто одну компоненту, через те що не мають великої вибірки, для визначення концентрацій N_2 , He , Ar , CO_2 в газових сумішах, що містять N_2 . Чутливість цього аналізатору газу складає до десятків відсотків за об'ємом, тобто цей аналізатор потрібно використовувати тоді, коли один компонент потрібно визначити в доволі точних концентраціях.

1.3.2 Термохімічні газоаналізатори

Їх принцип полягає у вимірюванні теплового ефекту хімічної реакції, в якій бере участь компонент, який потрібно визначити. У більшості випадків використовується окислення складників киснем повітря; каталізатори – марганцево-мідний чи дрібно дисперсна платина, нанесена на поверхню пористого приладу. Зміна температури Δt при окисленні вимірюють за допомогою металевого дроту чи напівпровідникового термо-резистора. У ряді випадків каталізатором виступає платиновий термо- резистор, який використовують як прискорювач реакції. Величина пов'язана з числом молей M окисленого компонента та тепловим ефектом співвідношенням: $\Delta t = kMq$, де k -коефіцієнт, що враховує втрати тепла, що залежать від конструкції приладу.

1.3.3 Магнітні газоаналізатори

Ці аналізатори газу застосовуються тоді, коли потрібно визначити складову газу по магнітним параметрам, використовуючи магнітні властивості газу. Є два типи газів: парамагнітні, що втягуються в магнітне

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						15
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

поле та діамагнітні, що не втягуються в магнітне поле.

Магнітна сприйнятливість-величина за допомогою якої цей метод здійснюється, він вимірюється кількісно. Магнітна сприйнятливість парамагнітних газів є позитивною величиною, діамагнітних газів - негативною. Магнітна сприйнятливість має властивість адитивності, тобто складається.

Парамагнітні властивості мають кисень і окис азоту, причому за абсолютним значенням їх магнітна сприйнятливість в 100 разів і більше перевищує магнітну сприйнятливість інших газів і парів. Наприклад, за допомогою цієї властивості вимірюється концентрація кисню. Точність вимірювання концентрацій складає 10^{-2} - 100%.

В цього типу аналізатору газу вимірюють сили, що діють на вміщене в аналізовану суміш тіло в неоднорідному магнітному полі.

Більш точні виконані по схемі компенсацій, що під час обертання ротора врівноважується відомим моментом, для створення якого використовуються магнітоелектричне чи електростатична. системи, врівноважується відомим моментом. Але роторні аналізатори складні і налаштування їх потребує багато часу.

1.3.3. Пневматичні газоаналізатори.

Суть сенсору полягає у залежності щільності та в'язкості газу та газової суміші від її складу.

Суміш зміню свої параметри та їх визначають за допомогою змін

Аналізатор газу з перетворювачем на дросельному принципі вимірює гідравлічний опір капіляра при пропусканні через нього газу чи газової суміші. При постійній перегонці газу через дросель вимірюється перепад тиску на ньому, щільність та в'язкість газу.

Струменеві аналізатор газу дає можливість вимірювати динамічний тиск струменя газу, що давить на сопла динамічний. Їх використання можна помітити, наприклад, в азотній промисловості для вимірювання вмісту H_2 в

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						16
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

азоті (діапазон вимірювання 0-50%), в промисловості - для визначення C1_2 (0-50 та 50- 100%). Час виміру є малим та становить декілька секунд, тому їх часто встановлюють в місцях для визначення концентрації газу та вибухонебезпечних місцях, де концентрація менше до вибухової.

1.3.5 Інфрачервоні газоаналізатори

Дія їх полягає у тому, що молекули вибірково поглинаються інфрачервоним випромінюванням в діапазоні 1-15мкм. Це випромінювання може поглинути усі гази, в яких молекула складається щонайменше з двох різних атомів

Великий спектр поглинання різних газів дає можливість вимірювати велику кількість різних газів та суміше, що має високу вибірку та має широке застосування в лабораторіях та промисловості.

Має здатність вимірювання концентрації 10^{-3} -100%. В дисперсійних аналізатор газів використовують випромінювання однієї довжини хвилі, отримане за допомогою монохроматорів, призм, дифракцій, решіток. У не дисперсійних аналізатор газів, завдяки особливостям оптичних схеми приладу застосування світлофільтри приймачів випромінювання використовують не монохроматичні випромінювання.

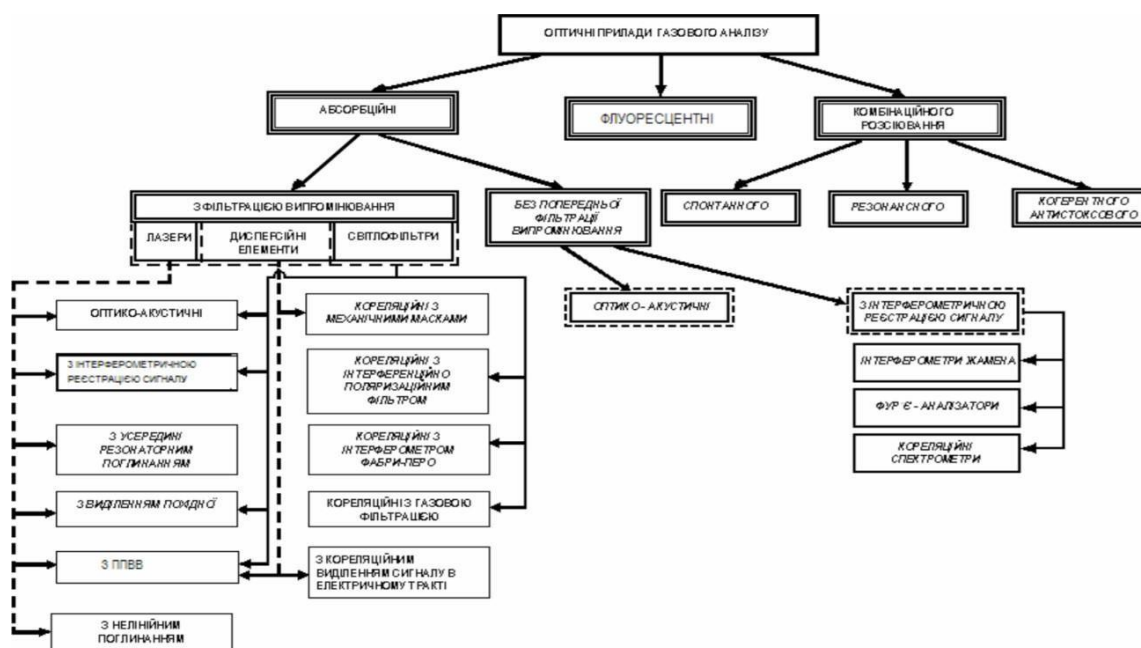


Рисунок 1.1. Класифікація оптичних приладів за фізичним принципом

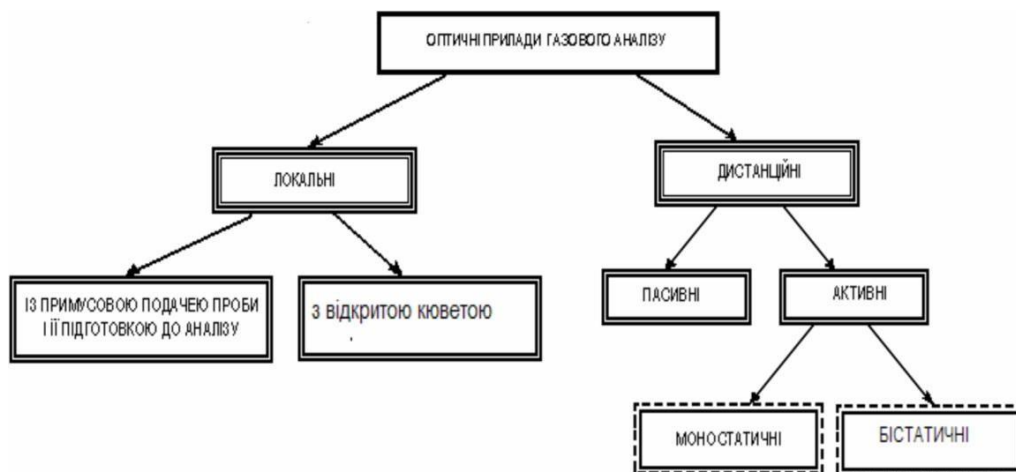


Рисунок 1.2. Класифікація оптичних приладів за технічними ознаками

1.3.6 Ультрафіолетові газоаналізатори

Принцип їх дії - селективне поглинання молекулами газів парів випромінювання в діапазоні 200-450 нм. Селективність визначення одноатомних газів дуже висока. Це універсальна платформа детектування газової хроматографії. Детекція ВУХ забезпечує як якісну, так і кількісну спектральну інформацію для більшості сполук газової фази.

Спектральні дані - є тривимірними (час, поглинання, довжина хвилі) і характерні для хімічної структури. Майже всі сполуки поглинають в області ВУХ електромагнітного спектру за винятком газів-носіїв водню, гелію та аргону.

. Фотони високої енергії, короткої хвилі ВУХ зондують електронні переходи майже у всіх хімічних зв'язках, включаючи основний стан до збудженого. Результатом є спектральні "відбитки пальців", які є специфічними для окремої структури з'єднання і можуть бути легко ідентифіковані.

Детектори доповнюють мас-спектрометрію, яка бореться з характеристикою конституційних ізомерів та сполук з низькими масовими

кількісними іонами. Спектри також можуть бути використані для відключення обуглення аналіту, що призводить до точного кількісного представлення внеску індивідуального аналіту в вихідний відповідь. Це характерно піддається значному скороченню часу виконання за рахунок хроматографічного стиснення, посиленого витратою.

Дво- і багатоатомні гази мають безперервний спектр поглинання в УФ-області, що знижує селективність їх визначення. Однак відсутність спектра УФ-поглинання в воді N_2 , O_2 , CO_2 дозволяє в багатьох практично важливих випадках проводити досить селективні вимірювання. Діапазон визначається їх концентраціями зазвичай 10^{-2} -100% (для пари діапазон ртуті 2,5-10 -6%).

Ультрафіолетовий аналізатор використовується для автоматичного контролю вмісту Cl_2 , O_3 , SO_2 , NO_2 , H_2S , ClO_2 , дихлоретан, зокрема в промислових викидах, а також для виявлення парів ртуті, $Ni(CO)_4$, в повітрі всередині приміщень.

1.3.7 Люмінесцентні газоаналізатори

Оптичні датчики кисню в основному засновані на принципі гасіння люмінесценції. На відміну від уже існуючих систем на основі інтенсивності, вимірювання тривалості люмінесценції дає певні переваги, такі як нечутливість вилугування барвника або зміни інтенсивності світла збудження. Це полегшує використання простих оптичних волокон. Методи фазового вимірювання показали потужний інструмент для непрямого вимірювання життя люмінесценції. Тут барвники з часом розпаду люмінесценції в порядку десятків чи сотень мікросекунд дозволяють використовувати просту опто-електронну схему та недорогу оброблювальну електроніку.

У хемілюмінесцентних аналізаторах газу вимірюють інтенсивність

люмінесценції, збудженої завдяки хімічній реакції контрольованого

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						19
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

інгредієнта з реагентом у твердій, рідкій чи газоподібній фазі. Приклад - взаємодій. NO з Про₃, що використовується для визначення оксидів азоту:



1.3.8 Фото-колориметричні газоаналізатори

Ці прилади вимірюють інтенсивність забарвлення продуктів вибіркової між визначеним компонентом та спеціально підібраним реагентом. Реакцію здійснюють, як правило, в розчині (рідинні аналізатори газу) чи на твердому носії у вигляді стрічки, таблетки, порошку (відповідно Стрічкові, таблеткові, порошкові аналізатор газу). Детекторна трубка - це градуйована скляна трубка, наповнена хімічним реагентом, що призведе до зміни кольору при впливі на неї газу. Застосовується за допомогою ручного насоса, який втягне пробу в трубку.

Трубки, як правило, постачаються в упаковці по десять і запечатані на обох кінцях. В процесі роботи наконечники обриваються, а трубка вставляється в ручний насос. Залежно від виробника, насос використовує або сильфон, або конструкцію поршня, протягуючи 100-мілілітровий зразок через трубку.

Коли проба пробирається вгору по трубці до насоса, він реагує з реагентом таким чином, що довжина утворюється зміни кольору пропорційна концентрації. Точка, коли ця реакція припиняється, зчитується з градуйованого маркування на трубці.

Фото-колориметричні аналізатори газу застосовують для вимірювання концентрацій токсичних домішок (напр., оксидів азоту, Про₂, С1₂, CS₂, О₃, Н₂S, NH₃, HF, фосгену, ряду органічних з'єднань) в атмосфері повітря приміщень. При контролі забруднень повітря широко використовують переносні прилади періодичної дії. Велике число фото-колориметричний аналізатор газів застосовують як газосигналізаторів.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						20
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.9 Електрохімічні газоаналізатори

Електрохімічний датчик газу вимірює концентрацію цільового газу, використовуючи реакції окислення або відновлення для генерування позитивного або негативного потоку струму через зовнішній контур. Основні компоненти електрохімічного датчика включають "робочий" електрод,

"лічильний" електрод в більшості випадків "опорний" електрод. Ці компоненти поєднуються всередині корпусу датчика з рідким електролітом. У верхній частині датчика є отвір, що обмежує мембрану та дифузію, через яке навколишнє повітря взаємодіє з електролітом датчика.

Основними компонентами електрохімічного датчика є робочий (або чутливий) електрод, зустрічний електрод і, як правило, електрод відліку. Ці електроди укладені в корпус датчика при контакті з рідким електролітом. Робочий електрод знаходиться на внутрішній грані тефлонової мембрани, пористої для газу, але непроникної для електроліту.

Газ дифундує в датчик і через мембрану до робочого електрода. Коли газ потрапляє на робочий електрод, відбувається електрохімічна реакція; або окислення, або відновлення залежно від типу газу. Наприклад, оксид вуглецю може окислюватися до вуглекислого газу або кисню може зводитися до води. Реакція окислення призводить до надходження електронів від робочого електрода до протилежного електрода через зовнішній ланцюг; і навпаки, реакція відновлення призводить до потоку електронів від зустрічного електрода до робочого електрода. Цей потік електронів утворює електричний струм, пропорційний концентрації газу. Електроніка в приладі визначає і підсилює струм і масштабує вихід відповідно до калібрування. Потім прилад відображає концентрацію газу, наприклад, в частках на мільйон (PPM) для датчиків токсичного газу та відсотковому об'ємі для датчиків кисню.

У кондуктометричних аналізаторах газу вимірюється електропровідність розчину при селективному поглинанні їм визначається складова. Недоліки

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						21
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

цих аналізаторів газу - низька вибірковість та тривалість встановлення показань при вимірюванні малих концентрацій. Кондуктометричний аналізатор газу широко застосовують для визначення Pro_2 , CO , SO_2 , H_2S , NH_3 та ін.

1.3.10 Іонізаційні газоаналізатори

Поверхнева іонізація (ПІ) - це форма детектування газу, яка спирається на хемосорбцію молекул аналіту на нагрітих твердих поверхнях та на вилучення утворених іонів аналіту з поверхні адсорбенту в бік протилежно зміщеного лічильника. Дуже цікавою особливістю ПІ процесу є те, що він значною мірою

нечутливий до малих молекул з високою іонізуючою енергією.

Дія заснована на залежності електропровідності газів від їх складу. Поява домішок в газі чинить додатковий вплив на освіту іонів або на їх рухливість і, отже, на рекомбінацію. Результуюче зміна провідності пропорційна вмісту домішок. Цей вид вибірковості робить виявлення ПІ цікавим для виявлення органічних продуктів розпаду, незаконних наркотиків та ряду інших небезпечних матеріалів. Вони використовують іонізуючу дію випромінювання на заповненому газом датчику. Якщо частка має досить енергії, щоб іонізувати на газовий атом або молекулу, в результаті електрони і іони викликають протікання струму, який може бути визначений.

Детектори газоподібної іонізації складають важливу групу приладів, що використовуються для виявлення та вимірювання випромінювання. Ця стаття дає короткий огляд основних типів, а більш детальну інформацію можна знайти у статтях про кожен інструмент. Супровідний графік показує зміну генерації іонної пари з різною прикладеною напругою для постійного падаючого випромінювання. Є три основні практичні діючі регіони, один з яких використовує кожен тип.

Все іонізаційні газоаналізатори містять проточну іонізацію. камера,

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						22
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

електроди якої накладають різниця потенціалів. Ці пристрої широко використовуються для контролю мікро-домішок в повітрі, а також в якості детекторів в газових хроматографах.

1.3.11 Оптичні та оптико-акустичні газоаналізатори

В оптичних газоаналізаторах концентрація визначається зміною оптичних властивостей газової суміші, які включають показники заломлення, спектральний поглинання і випромінювання, спектральну щільність. Найбільш поширені чотири групи оптичних газоаналізаторів: інфрачервоне і ультрафіолетове поглинання; флуоресцентний; коли видиме випромінювання послаблене, оптичні газоаналізатори володіють великою роздільною здатністю, що робить їх застосовними для аналізу мікро-концентрацій вибухонебезпечних і токсичних газів при одночасному контролі повітря в атмосфері виробничих приміщень.

Фото-акустичний ефект відноситься до генерації звуку за допомогою процесу оптичного осадження тепла з подальшим термічним розширенням, що призводить до локального підвищення тиску, що виробляє вихідні акустичні хвилі. У лінійному акустичному режимі унікальною властивістю фото акустичного ефекту в геометрії з симетрією в одному вимірі є те, що коли оптичне джерело рухається зі швидкістю звуку, амплітуда акустичної хвилі лінійно збільшується в часі без обмеження. Тут описано застосування цього ефекту для відстеження простеження газів за допомогою оптичної решітки, яка рухається зі швидкістю звуку всередині резонатора, обладнаного резонансним п'єзоелектричним детектором кристалів, даючи межі виявлення в діапазоні частин на квадрильйон. Амплітуда фото-акустичного ефекту для оптичного джерела, що рухається зі швидкістю звуку в одновимірній геометрії, лінійно збільшується в часі, не обмежуючись лінійним акустичним режимом. Тут використання цього принципу описано для детектування слідів газів, використовуючи два зміщені по частоті

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						23
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

промені від лазера CO_2 , спрямовані під кутом один до одного, щоб надати оптичні межі, що рухаються зі швидкістю звуку в порожнині з поздовжнім резонансом.

Газоаналізатор інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання. Кожен газ характеризується певним спектром поглинання. Гази, що містять два або більше гетерогенних атома, такі як CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 , C_2H_2 , мають спектри поглинання в інфрачервоній області. Одноатомні газы характеризуються лінійними спектрами поглинання, що лежать в ультрафіолетовій області.

Щоб використовувати цей метод вимірювання, необхідно, щоб певний компонент мав спектр поглинання, відмінний від спектрів поглинання інших компонентів аналізованої суміші.

1.3.12 Оптичні хімічні сенсори

Оптичні хімічні датчики та біосенсори являють собою інтегровані аналітичні системи, що використовують оптичну перетворення. У цих системах хімічне вимірювання проводиться на основі взаємодії світла з хімічною системою та подальшого перетворення отриманого оптичного сигналу в

електричний сигнал. Оптичні волокна часто використовують як інтегруюче середовище, пов'язуючи компоненти оптоелектронного приладу з елементом молекулярного розпізнавання, який генерує відповідь у присутності аналіту. Ці пристрої кодують хімічну інформацію за допомогою оптичного сигналу, що рухається в оптичних волокнах. Хімічний датчик оптичного волокна складається з таких основних компонентів: оптичного волокна, оптоелектронного приладу та твердофазного елемента молекулярного розпізнавання.

Оптичні хімічні сенсори є однією з найважливіших категорій хімічних сенсорів. Цей клас датчиків поєднує хімічне та біологічне розпізнавання з

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						24
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

прогресом в оптико-електронних технологіях. Застосування сольгелевих матеріалів до цих датчиків, особливо у вигляді тонких плівок, викликало значний інтерес завдяки простоті виготовлення та гнучкості конструкції процесу. Характер золь-гелевого процесу дуже добре піддається нанесенню тонких плівок із застосуванням різних методів, таких як діп-покриття, віджимання та розпилення. У багатьох сенсорних програмах, соль-гелева плівка використовується для забезпечення мікропористої опорної матриці, в яку вхоплюються чутливі до аналіту молекули і в які дрібніші види аналіту можуть дифундувати та взаємодіяти. Залежно від типу оптичних сенсорів їх дія заснована на наступних принципах :

- поглинання світла (абсорбція);
- відображення первинного (падаючого) світлового потоку;
- люмінесценції.

При цьому використовуються залежно оптичних властивостей середовищ (коефіцієнтів заломлення, відображення та ін.) Від концентрацій визначених речовин.

Розглянемо фундаментальні явища, що лежать в основі дії оптичних хімічних сенсорів.

1.3.13. Хроматографічні газоаналізатори

Ці аналізатори призначені для вимірювання багатокомпонентних сумішей газів, складів речовин і твердих речовин.

Газова хроматографія (ГХ) - це метод, який відокремлює газову суміш для визначення наявності та концентрації газів та домішок у зразку. Правильно застосований, може виміряти до рівня ppb, що робить його придатним для використання в процесах високої чистоти.

У ГХ компоненти газової суміші відокремлюються шляхом циркуляції газового зразка, використовуючи інертний газ-носіє, в циркулярну трубку,

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						25
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

що проходить через проточну трубку, відому як колона. Різні складові газу відокремлюються завдяки їх взаємодії з матеріалом колонки, внаслідок чого різні молекули у зразку відокремлюються в різний час. Ці конкретні часові затримки визначаються датчиком на виході з колонки, оскільки окремі молекулярні властивості кожного газу змушують його проходити і виходити в різний час.

Порівняння часу утримання дозволяє користувачам якісно ідентифікувати типи газу за порядком, в якому вони відокремлюються з колонки. Якщо умови постійні, конкретний газ буде відокремлюючись з однаковим часом утримування, дозволяючи виводити конкретні типи газу з області піку. Крім того, відносний обсяг кожної концентрації газу також може бути виміряний детектором, коли кожен газ відокремлюється з колонки.

Системи газової хроматографії (також відомі як системи ГХ та газові хроматографи) використовують або упаковані, або капілярні колонки для розділення сумішей на окремі компоненти, які потім можуть бути виміряні. ГХ у поєднанні з мас-спектрометрією додатково підвищує селективність та ідентифікацію з'єднання. Вдосконалення в сучасних системах ГК відображають постійний прогрес у галузі застосування техніки, включаючи екологічні випробування, криміналістику, безпеку харчових продуктів та аналіз біодизеля.

Аналізатори цього типу мають показання для одночасного вимірювання декількох типів газу, вимірювання багатоконпонентних газових сумішей, складу рідин і твердих речовин. Хроматографи - це періодичні пристрої, які мають більш складну компоновку, ніж розглянуті газоаналізатори.

Газо-носії періодично вводять зразок аналізованого газу. У розділовій колоні, заповненій твердим або рідким сорбентом, аналізована суміш розділяється на компоненти. Найменш поглинаються гази рухаються уздовж шару сорбенту з більшою швидкістю. Тому в пробі суміші газів, що містить

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						26
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

три, перший є найменш адсорбованим газом, а останній - добре сорбованих. Після поділу кожен компонент з газом-носієм утворює бінарну суміш, аналіз якої можна проводити різними методами, в тому числі обговорювалися вище в детекторі. Оскільки в процесі вимірювання властивості газо-носія можуть змінюватися, при проходженні останнього через детектор фіксуються зміни його властивостей, викликані наявністю аналізованої суміші. [3 - 6 , 9 - 12 , 14 , 16 , 17]

1.3.14. Каталітичний детектор (пелістор)

Каталітичні детектори газу працюють шляхом вимірювання виходу тепла в результаті каталітичного окислення з горючих газів молекул до вуглецю діоксиду і водяної пари при твердій поверхні . За допомогою каталізатора температура, при якій відбувається окислення, значно знижується порівняно з окисленням газової фази . Каталізатор може бути вбудований в твердотільний датчик, що містить електричний нагрівачі пристрій, що визначає температуру. Потік зразкового газу подається над датчиком та горючими газами функціонують шляхом вимірювання тепловіддачі, що виникає внаслідок каталітичного окислення молекул горючих газів до вуглекислого газу та водяної пари на твердій поверхні. За допомогою каталізатора температура, при якій відбувається окислення, значно знижується порівняно з окисленням газової фази. Каталізатор може бути вбудований в твердотільний датчик, що містить електричний нагрівач і пристрій, що визначає температуру. Над датчиком подається потік зразкового газу, і легкозаймисті гази в зразку постійно окислюються, виділяючи тепло і підвищуючи температуру датчика. Відхилення температури в датчику контролюються для постійного запису концентрації горючих газів у зразку.

Найбільш придатні метали для сприяння окисленню молекул, що містять СН-зв'язки, такі як метан та інші органічні види, - це ті, що входять

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						27
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

до групи 8 періодичної таблиці , зокрема платина та паладій . Датчик температури , як правило , платиновий термометр опору намотані котушки , а також

використовується в якості електричного нагрівача для датчика. Опір вимірюється шляхом підключення датчика як однієї руки моста Вітстона і вимірювання позабалансової напруги через міст.

Котушка 50 μ пелістором платиновий провід встановлюється на двох дротяних опорах, які також виконують роль електричних з'єднань. Котушка вбудована в пористий керамічний матеріал, як правило, глинозем , щоб утворити намистину довжиною близько 1 мм. Матеріал каталізатора просочується з зовнішньої сторони бісеру. Цей тип каталітичного датчика часто називають а. Вибір каталізатора та обробка зовнішньої частини бісеру - наприклад, шляхом включення дифузійного шару - впливає на загальну чутливість датчика та відносну чутливість до різних газів. На чутливість та селективність також впливає вибір каталізатора та температура, при якій працює датчик. Паладій та його оксиди є найбільш широко використовуваними каталізаторами; вони мають перевагу в тому, що вони набагато активніші, ніж платина, завдяки чому датчик може працювати при мінімально можливій температурі. Датчик встановлений у захисній банці з відкритим покриттям, так що потік газу до датчика значною мірою дифузійний.

Таблиця 1.1.

Таблиця.

<i>Ефект, явище, властивість</i>	<i>Фізична сутність перетворення</i>
Теплопровідність (теплова енергія \rightarrow зміна фізичних властивостей)	Перехід теплоти всередині фізичного об'єкта з області з більш високою в область з більш низькою температурою
Теплове випромінювання (теплова енергія \rightarrow інфрачервоні промені)	Оптичне випромінювання при підвищенні температури фізичного об'єкта
Ефект Зеебека (температура \rightarrow електрика)	Виникнення ЕРС в ланцюзі з біметалічними сполуками при різній температурі сплавів
Піроелектричний ефект (температура \rightarrow електрика)	Виникнення електричних зарядів на гранях деяких кристалів при підвищенні температури
Ефект фотопровідності (світло \rightarrow електричний опір)	Зміна електричного опору напівпровідника при його опроміненні світлом
Ефект Фарадея (світло і магнетизм \rightarrow світло)	Поворот площини поляризації лінійно-поляризованого світлового променя, що проходить через парамагнітне речовина
П'єзоелектричний ефект (тиск \rightarrow електрика)	Виникнення різниці потенціалів на гранях сегнетоелектрика, що знаходиться під тиском
Ефект Доплера (звук, світло \rightarrow частота)	Зміна частоти при взаємному переміщенні об'єктів в порівнянні з частотою, коли ці об'єкти нерухомі
Хімічні властивості (інформація про хімічних зв'язках \rightarrow сигнал)	Біохімічний перетворювач перетворює інформацію про хімічних зв'язках в фізичне або хімічне властивість або сигнал

1.4 Висновки до розділу

У цьому розділі ми визначили, які електронні засоби можуть бути використані для визначення концентрації зріджених вуглеводневих газів, а також інших горючих газів, які використовуються в побуті. Нами було виявлено, що для досягнення мети нашого дослідження найбільш підходящими датчиками для визначення високого рівня концентрації горючих газів в повітрі є напівпровідникові, оскільки призначені для визначення газів в широкому діапазоні концентрації. На основі огляду та аналізу технічних характеристик існуючих пропозицій різних виробників на ринку сенсорів.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						29
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАНА

2.1 Спектр дослідження газу

На рис. 2.1 наведені розрахунковий спектр поглинання ν^3 смуги метану на відстані 2,2 км та сумарний спектр поглинання CH_4 та H_2O відповідно з урахуванням ширини випромінювання зондуєного лазера 3,0 см^{-1} при постійному скануванні з кроком 0,1 см^{-1} . В результаті аналізу спільно діючих спектрів можна прийти до наступних висновків.[3]

1. Область всіх чітко дозволених обертальних ліній R-гілки знаходяться в глибокій непрозорій частини атмосфери, отже, проведення вимірювання в цьому діапазоні довжин хвиль неможливо.

2. Інтенсивна невирішена центральна Q-гілка розширені та деформована через доплерівського та зіткнень ефектів. Проте висока інтенсивність дозволяє строго визначити максимум частоти (ν_0) цієї лінії. В ІК-лідарної системі цю частоту використовують в якості реперної крапки для точного визначення довжини хвилі випромінювання ПГС.

3. З високою точністю дозволени обертальні лінії P-гілки. Видно, що лінії, що знаходяться в безпосередній близькості Q-гілки також знаходяться в непрозорій частині пропускання атмосфери. Починаючи з довжин хвиль $\lambda \geq 3,4$ мкм обертальні лінії P-гілки проявляються. Однак форми цих ліній (P7, P9) також сильно деформовані, дозволити центральну частину від крил можна тільки умовно. Досить ізольована обертальна лінія P10, чітко та строго визначені центр та крила лінії, тому основні виміри методом ДПР в реальній атмосфері можна зробити на цій лінії.

Результати експериментальних вимірювань спектрів поглинання в діапазоні довжин хвиль $\lambda = 3,25\text{-}3,45$ мкм наведені на рис. 2.1. Спектр поглинання, показаний на рис. 2.1, а, був отриманий після проходження

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						30
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

перебудовується з кроком сканування 0,1 см-1 та спектральної шириною 0,7 см-1 випромінювання ПГС через кювету з метаном чистотою 90% та в стандартних умовах. На рис. 2.1, б наведено експериментально виміряний спектр поглинання реальної атмосфери.

Основними поглиначами випромінювання в цьому діапазоні вважаються CH_4 та H_2O . [4]

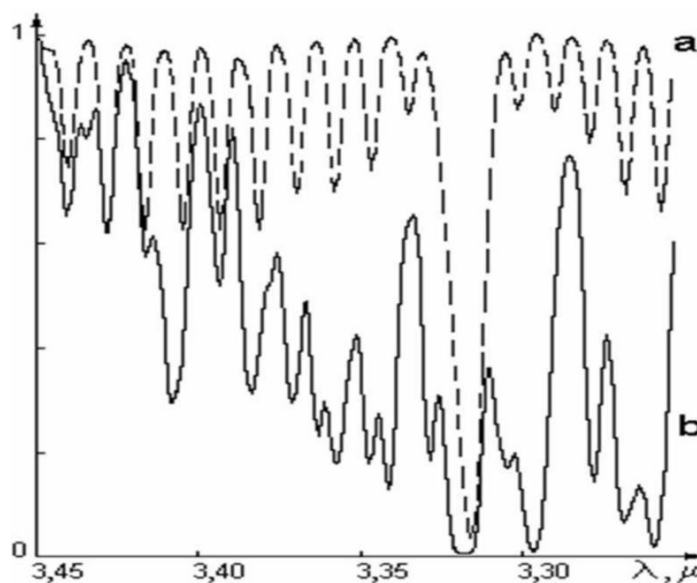


Рисунок. 2.1. Розрахункові спектри поглинання CH_4 (а) та $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ (б)

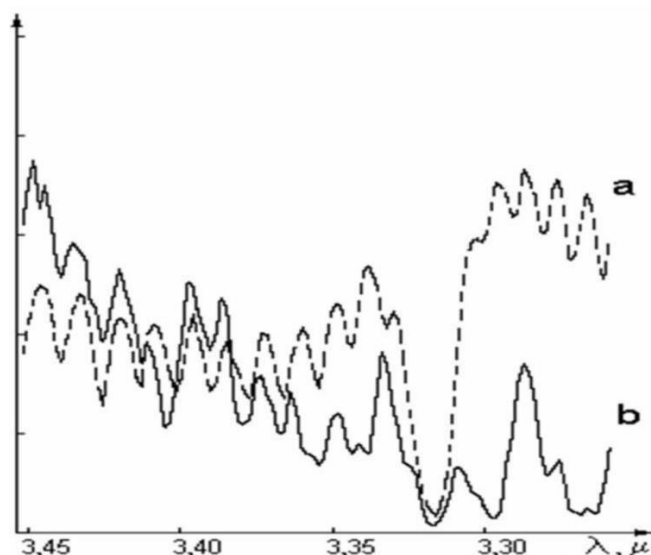


Рисунок. 2.2. Виміряні спектри поглинання CH_4 (a) та атмосфери на відстані 2 200 м (b)

З даного досвіду встановили довжину хвиль для камер спостереження $\lambda = 3,25\text{-}3,45$ мкм.

2.2. Вибір довжини хвилі для визначення газу

Вибір довжини хвилі для визначення газу контролюється існуючим вихідним спектром джерела інфрачервоного випромінювання. Спектр поглинання води показує сильне поглинання на довжинах хвиль менше 3, 5-8 та після 16 мкм. Якщо спектральні лінії визначається газу знаходяться в цих областях, то спостерігаються перешкоди через присутність вологи. Отже, найкращі результати роботи будуть в області 8-16 та 3-5 мкм, в яких розташовані спектральні лінії великої кількості газів. У датчиках область 3-5 мкм обрана з наступних причин:

1. Велика кількість адсорбційних ліній в областях спектра 3-3,5 мкм для вуглеводнів та 4,2 мкм для CO_2 .
2. Стандартна ІК-лампа зі скляним корпусом випускає випромінювання з довжиною хвилі до 5 мкм. Область понад 8 мкм вимагає

застосування більш дорогого джерела інфрачервоного випромінювання. Крім того, точність визначення ліній поглинання знижується, тому дана область використовується рідко. Діапазон 5-8 мкм не використовується з вищезгаданих причин.

3. Ні ліній поглинання газу на довжині хвилі 4 мкм, що дозволяє встановити опорний сигнал в цьому спектрі.

2.3. Інфрачервоні (ІЧ-камери)

Інфрачервоні (ІЧ-камери) тепловізійні камери десятиліттями використовувались для різних застосувань для нафти та газу, включаючи електричні / механічні огляди, перевірки рівня резервуарів та навіть перевірки цілісності труб в технологічному обладнанні. В останні роки була розроблена нова технологія оптичного газо-візування, яка може "бачити" вуглеводневі гази та летючі органічні сполуки (ЛОС), які випускаються в атмосферу чи протікають в атмосферу. можна використовувати для задоволення нормативних вимог щодо скорочення викидів, одночасно сприяючи зменшенню втрат продукції, що, в свою чергу, забезпечує позитивну віддачу від інвестицій. Камери - це величезна економія часу в порівнянні з іншими технологіями огляду, а також пропонують переваги безпеки для операторів.

Фізичні принципи функціонування інфрачервоного датчика Взаємодія ІК- випромінювання з молекулою Ухвалою газу є вимір вихідного сигналу, сформованого перетворенням поглиненого газом інфрачервоного випромінювання. ІЧ-випромінювання - частина електромагнітного спектра, зазвичай поглинається молекулами газу. Коли довжина хвилі випромінювання збігається з власною частотою коливання молекул, їх енергетичний стан змінюється. Іншими словами, амплітуда коливань атомів збільшується при поглинанні випромінювання з певною довжиною хвилі.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						33
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Поглинання інфрачервоного випромінювання збільшує температуру газу. ІЧ-випромінювання реагує з дипольною молекулою газу. Молекулярний диполь формується, коли коливання молекули несиметричні щодо різних атомів чи ж атоми розташовані несиметричним чином. Вагаючись, атоми деформують міжатомні зв'язку, які утворюють дипольний чи мультипольного момент. Це показано на рис. 2.1 для молекули SO_2 . Симетричні молекули не порушуються ІК-випромінюванням, так як не створюють диполів. Деякі подвійні молекули, типу O_2 , H_2 та N_2 , є прекрасним прикладом симетричною молекули, що має симетричне (рис. 2.1а) та несиметричне (рис. 2.1б) напрямком коливання. Вуглеводні в ос безпечної роботи в шахті та на хімічному виробництві, комфортна атмосфера в будинку та салоні автомобіля, визначення витоків та складу газу - все це можна здійснити за допомогою датчиків газу компанії SGX Sensortech. Компанія виробляє безліч типів датчиків: пеллісторніе, термо-каталітичне, напівпровідникові, мікро-електромеханічні. Але найбільших успіхів досягла в створенні ІЧ-датчиків газу. Про переваги цих приладів перед іншими типами датчиків та способах їх застосування піде мова в цій статті. інфрачервоні датчики газу: шлях до безпеки та енергоефективності датчики компоненти новном активізуються ІЧ- випромінюванням зі зв'язків С-Н. Коли число зв'язків С-Н росте, абсорбційна крива виражається сильніше, оскільки абсорбція піки на діаграмі формуються в групи. Інтенсивність випромінювання молекул газу, в залежності від довжини хвилі, називається абсорбційним спектром.

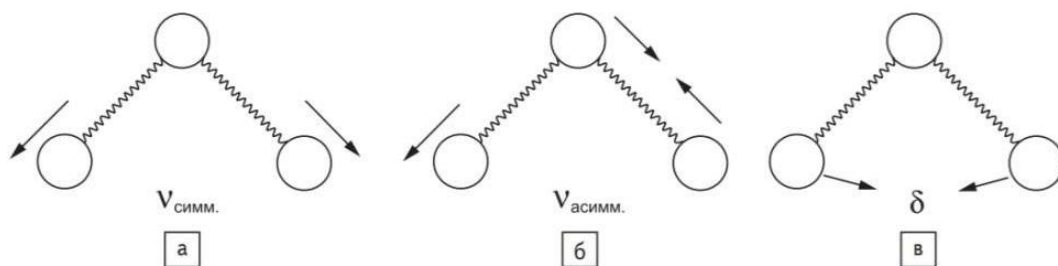


Рисунок 2.3 Коливання атомів в молекулі
 :а)симетично;б)асиметрично;в)деформаційно

Термографія (ІЧ-тепло-візуалізація) - це метод безконтактного вимірювання температури за допомогою ІК-камери, відкаліброваної за температурою. Теплова енергія, виявлена ІК-камерами, не видима для людського ока, тому різні температури в тепловому зображенні можуть бути "відображені" на різні кольори для відображення за допомогою програмного забезпечення для ІЧ- візуалізації (рис. 2.3). Коли температура змінюється, кольори на зображенні змінюються, попереджаючи користувачів про можливі сфери, що викликають занепокоєння, чи поза особливими умовами. Вибір найбільш підходящої кольорової палітри може допомогти виділити критичні особливості теплового зображення.

Оптична картина газу використовується для дотримання норм, заощаджуючи гроші та покращуючи безпеку оператора. Один із прикладів - компанія, яка почала використовувати технологію оптичної обробки зображень газу в 2005 році для пошуку втікаючих викидів на своїх виробничих потужностях. Компанія щомісяця оглядає 150 об'єктів та протягом одного року оглядає 1700 свердловин. використовує інфрачервону камеру для виявлення метану та ЛОС, що забезпечує візуальне підтвердження протікань на рівні 0,8 грам / годину.

Здатність сканувати великі площі та візуалізувати газові потоки в режимі реального часу. Це допомагає інспекторам точно визначити джерело нестабільних викидів та негайно розпочати процес ремонту, що робить перевірки більш ефективними. Насправді, під час польового дослідження, сканування за допомогою інфрачервоних камер було щонайменше в дев'ять разів швидше, ніж виконання сканування методу на тому ж обладнанні сайту.

Швидкість сканування полегшує виробникам нафти та газу частіше обстежувати обладнання. Більш часті перевірки та ремонти можуть значно зменшити викиди метану та викиди ЛОС. Наприклад, щоквартальні опитування можуть скоротити викиди на 80 відсотків, тоді як піврічні

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						35
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторингові дослідження та ремонти можуть зменшити викиди на 60 відсотків.

До розробки камер, більшість нафтогазових установок використовували аналізатор токсичних випарів (АТВ), інакше відомий як "нюхач", для аналізу рівнів концентрації газу та кількісного визначення викиду газу в атмосферу. Телевізори надійні, відносно низькі, та можуть ідентифікувати більшість газів. Недоліком порівняно з камерою АТВ є те, що оператор повинен точно знати, куди звернутися, щоб шукати несправність - та фізично торкатися її. Іншими словами, sniffers - це як грати в кінці хвоста на віслюку, в той час як оптичний знімок газу - це та сама гра - але без зав'язок. Також АТВ значно (в 5- 10 разів) швидше, ніж снайпер.

Оптична система візуалізації газів також пропонує ряд переваг безпеки перед традиційними телевізорами. Це дозволяє дистанційно виявити газ, який може потенційно вибухнути чи спричинити проблеми зі здоров'ям у тих, хто дихає газом. Камери дозволяють операторам залишатися на безпечній відстані під час перевірок. Замість того, щоб стояти в хмарі газу, вони можуть залишатися на землі, вказувати на пляму висотою 10 чи 20 футів та визначати, чи витікає він газ в атмосферу.

2.4. Проміжний інфрачервоний

Середньохвильовий чи MWIR інфрачервоний - це підмножина інфрачервоної смуги електромагнітного спектру, що охоплює довжину хвиль від 3 мкм до 5 мкм (3000 нм до 5000 нм). Це променисте тепло, яке бачать наші охолоджені камери тепловізору.

Теплові камери MWIR здатні домогтися найвищого діапазону виявлення для теплових інфрачервоних камер спостереження та часто охолоджуються за допомогою циро-кулера, що дозволяє їм пропонувати екстремальний діапазон з високою контрастністю та невеликим рівнем шуму.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						36
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Технологія Midwave Infrared

Область MWIR також називається "тепловою інфрачервоною", оскільки випромінювання випромінюється від самого об'єкта, а зовнішнє джерело світла не потрібне для зображення об'єкта. Два основних чинника визначають, наскільки яскравим є об'єкт для тепловізора: температура об'єкта та його випромінювання (фізична властивість матеріалів, яка описує, наскільки ефективно він випромінює). Оскільки об'єкт стає гарячіший, він випромінює більше енергії та стає яскравішим для тепловізійної системи. Атмосферні затемнення викликають набагато менше розсіювання в смугах MWIR та LWIR, ніж у діапазон SWIR, тому камери, чутливі до цих довгих хвиль, мають високу толерантність до диму, пилу та туману.

Оскільки об'єкт стає гарячішим, він випромінює більше енергії та стає яскравішим для тепловізійної системи. Атмосферні затемнення спричиняють набагато менше розсіювання в діапазоні MWIR, ніж у діапазоні SWIR, тому камери, чутливі до цих довгих хвиль, мають високу толерантність до диму, пилу та туману.

MWIR збирає світло в спектральній смузі від 3 мкм до 5 мкм. Камери MWIR використовуються, коли головна мета - отримання високоякісних зображень, а не фокусування на вимірюванні температури та мобільності.

Діапазон MWIR спектру - область, де тепловий контраст вищий за рахунок фізики чорних тіл; в той час як в діапазоні LWIR спостерігається набагато більше випромінювання, що випромінюється з наземних об'єктів порівняно з діапазоном MWIR, кількість випромінювання менша від температури (криві Планка): саме тому зображення MWIR зазвичай забезпечують кращий контраст, ніж LWIR. Наприклад, пік викидів гарячих двигунів та вихлопних газів відбувається в діапазоні MWIR, тому ці камери особливо чутливі до транспортних засобів та

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						37
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

літаків.

2.6. Матеріали для інфрачервоного детектування

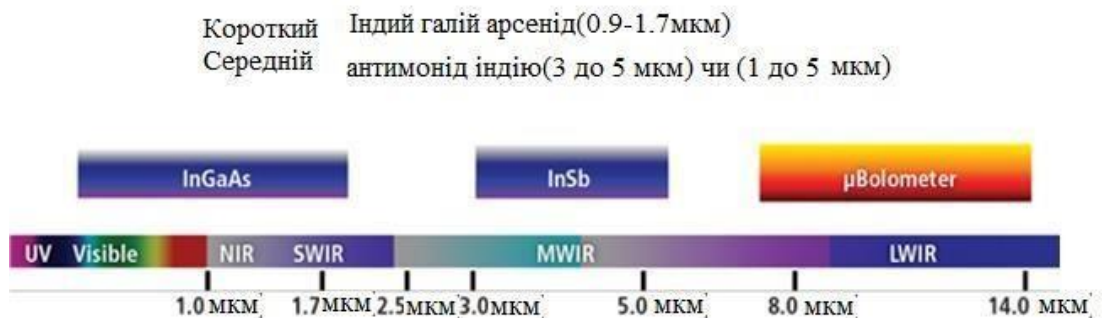


Рисунок 2.4 Лінійка інфрачервоного випромінювання

Spectral bands	Range [μm]	Detector materials*
NIR	0.74 - 1	SiO ₂
SWIR	1 - 3	InGaAs, PbS
MWIR	3 - 5	InSb, PbSe, PtSi, HgCdTe
LWIR	8 - 14	HgCdTe
VLWIR	14 - 1000	-

Рисунок 2.5 матеріали для детектування інфрачервоного випромінювання визначеного спектру

2.6.1. InSb

Антимонід індію (InSb) - напівпровідникова сполука з енергією 0,17 еВ при кімнатній температурі, завдяки чому широко використовується в

інфрачервоних камерах середньої хвилі (MWIR) для отримання ІЧ-зображень до довжини хвилі 5,5 мкм. Однак існують деякі обмеження детекторів, що використовують насипний InSb, наприклад високий темний струм та працює при кріогенній температурі. Ці проблеми можна подолати, використовуючи нано-проводи InSb, оскільки квантове обмеження в одновимірних (1D) нано-провідниках визначає їх унікальні оптоелектронні властивості. Темний струм фотодетекторів на основі нано-провода значно зменшиться за рахунок усадки розмірів [1] придушення фононного розсіювання в нано-структурах [4], що призводить до підвищення робочої температури. Високе співвідношення сигнал / шум може бути отримано при тривалому терміні експлуатації фотоносіїв та скороченому часу проходження несучої у фотодетекторах на основі InSb на основі нано-провідника завдяки високому співвідношенню нано-провід між поверхнею та об'ємом [5]. Враховуючи ці особливості та історію об'ємних InSb-детекторів, цікавим є дослідження фото-відповідей фотоприймачів на основі нано-проводів InSb. Успішна демонстрація знайде застосування в медицині, обороні, виявленні вогню, спілкуванні та астрономії.

А зважаючи на те, що в тому ж напрямку відбувається ослаблення іонного складового зв'язку, то рухливість носіїв заряду різко зростає. Серед всіх напівпровідників антимонід індію має рекордно високу рухливість електронів. Абсолютне значення рухливості електронів для більшості сполук істотно перевищує рухливість дірок. Виключення становить тільки антимонід алюмінію, у якого рухливість дірок майже в три рази перевищує рухливість електронів. [6]

В останні роки вироблені елементарні та складні напівпровідники, метали, оксиди, нітриди та різноманітні інші неорганічні матеріали у вигляді нано-проводів [7]. Це мотивовано можливістю проводити інженерію зазорів, змінюючи діаметр дроту [8], застосовуючи ефекти квантового утримання для розмірів проводів нижче радіуса Бора, використання

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						39
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

високоякісних монокристалічних проводів покращені поверхні порівняно з травленими конструкціями подібних розмірів, а також можливість здійснення інтеграції пристроїв знизу вгору. Варіації енергії зазору в діапазоні можна отримати, вибираючи діаметр діаметра, залежно від бажаного режиму довжини хвилі.

Антимонід індію (InSb) - кристалічна сполука, виготовлена з елементів індію (In) та сурми (Sb). Це напівпровідниковий матеріал з вузьким зазором з групи III - V, який використовується в інфрачервоних детекторах , включаючи камери тепло-візуровання, інфрачервоні системи навішування ракет та інфрачервону астрономію . Антимонідні детектори індію чутливі між довжиною

хвилі 1–5 мкм.

Антимонід індію був дуже поширеним детектором у старих, одно детекторних механічно сканованих системах тепло-візуалізації. Інше застосування - це джерело випромінювання терагерців, оскільки це сильний фотоемітер.[4]

Цей матеріал використовується для створення камерного спектра середнього хвилю повітряного світла.

InSb-детектори є фотоелектричними та генерують струм при впливі інфрачервоного випромінювання. На рисунку 2.5 показана еквівалентна схема для InSb, що включає опору шунта, компакт-диск ємнісного компакт-диска та шум пострілу. Шум пострілу є результатом струму IBG постійного струму, що виробляється фоновим інфрачервоним випромінюванням. Оскільки IBG пропорційний активній області детектора (рис. 5), менші детектори мають менший шум при пострілі та менші значення.

Упаковка: Усі детектори InSb серії вимагають робочої температури 77 ° К. Детектор поставляється в стандартному металевому декорі з сапфіровим вікном та полем зору 60 °. Доступні й інші варіанти вікон та екранів. Всі детектори InSb можуть бути передбачені в комплектації детектора

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						40
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

охолодження для роботи без сипкого рідкого азоту.

Підсилювач РА-9 спеціально підходить до кожного детектора InSb, щоб забезпечити максимальну чутливість, посилення та пропускну здатність. Підсилювач РА-7 з регульованим посиленням з меншою вартістю підходить для застосувань з низькою частотою (DC-10 кГц). Вибираючи посилення підсилювача, вибираючи найбільшу практичну величину РЧ приводячи до найнижчого загального шуму. Однак слід врахувати детектор IBG, щоб уникнути насичення постійного струму перед підсилювача.

2.6.2. HgCdTe

HgCdTe - потрійне напівпровідникове з'єднання, яке демонструє обріз довжини хвилі, пропорційний складу сплаву. Фактичний детектор складається з тонкого шару (від 10 до 20 мкм) HgCdTe з металізованими контактними накладками, що визначають активну область. Фотони з енергією, більшою за енергію напівпровідникової смуги зазору, збуджують електрони в зону провідності, тим самим збільшуючи провідність матеріалу. Довжина хвилі пікової реакції залежить від енергії смуги зазору матеріалу і може легко змінюватися, змінюючи склад сплаву. Для того, щоб відчувати зміну провідності, потрібен струм зміщення або напруга. Зазвичай детектори виготовляють у квадратній або прямокутній конфігурації для підтримки рівномірного розподілу струму зміщення по всій активній області.

Детекторне зміщення та робоча схема: Основна схема для роботи ПК HgCdTe детекторів серії J15 показана на рисунку 2.5. Ці детектори є пристроями низького опору, як правило, від 10 до 150 Ом і потребують попереднього підсилювача шуму низької напруги. Постійний струм зміщення виробляється в детекторі з використанням джерела постійного струму низького шуму або батареї з резистором, що обмежує струм. Конденсатор

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		41

з'єднання змінного струму блокує напругу зміщення постійного струму від підсилювача високого посилення і запобігає насиченню постійним струмом. Для досягнення оптимальної продуктивності, що має вбудовану схему зсуву і спеціально підходить до кожного детектора на заводі. Низький рівень шуму, високий коефіцієнт посилення та широка пропускна здатність забезпечують належну продуктивність для подальшої обробки сигналів осцилоскопами, перетворювачами AD, блокувальними підсилювачами тощо.

Телурид кадмію ртуті ($\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$) - практично ідеальна система ІЧ- детекторів. Її відмітна позиція залежить від трьох основних особливостей:

- залежний від складу кадмієвий (Cd) енергетичний діапазон (чутливість довжини хвилі може бути налаштована шляхом зміни її складу сплаву x в межах 1–30 мкм),
- великі оптичні коефіцієнти, що забезпечують високу квантову ефективність, сприятливі притаманні механізми рекомбінації, що призводять до тривалого терміну експлуатації носія та високої робочої температури.
- Крім того, надзвичайно мала зміна постійної решітки щодо складу дозволяє вирощувати високоякісні шари та гетероструктури.

Високоякісні зразки HgCdTe демонструють коефіцієнт поглинання α у короткохвильовій області, щоб відповідати моделі Кейн. Проблеми, як видається, ускладнюються в області LWIR появою хвоста поглинання, що простягається на енергії, нижчі за енергетичний проміжок, що відноситься до неоднорідності композиції.

2.6.3. PbSe

Селеніду свинцю (PbSe) або свинцю (II), селенід, А селеніду з свинцю, є напівпровідниковим матеріалом. Він утворює кубічні кристали на NaCl структури; він має прямий проміжок 0,27 eV при кімнатній температурі.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						42
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

(Зауважимо, що [2] неправильно ідентифікує PbSe та інші напівпровідники IV – VI як матеріали непрямого зазору.) [3] Це сірий кристалічний твердий матеріал.

Він використовується для виробництва інфрачервоних детекторів для термічної обробки зображень, [4], які працюють на довжинах хвиль між 1.5-5.2 мкм. Він не вимагає охолодження, але краще працює при більш низьких температурах. Пікова чутливість залежить від температури і коливається в межах 3,7–4,7 мкм.

PbSe - це фото-кондукторний матеріал. Механізм його виявлення заснований на зміні провідності полікристалічної тонкої плівки активного матеріалу при паданні фотонів. Ці фотони поглинаються всередині мікро кристалів PbSe, викликаючи потім просування електронів з валентної зони в зону провідності. Незважаючи на те, що вона була широко вивчена, сьогодні механізми, що відповідають за її високу дефективність при кімнатній температурі, недостатньо вивчені. Загальновизнаним є те, що матеріал та полікристалічна природа активної тонкої плівки відіграють ключову роль як у зменшенні механізму шнека і зменшення темного струму, пов'язане з наявністю безлічі областей виснаження між зернами та потенційних бар'єрів всередині полікристалічних тонких плівок. Неохолоджені інфрачервоні (ІЧ) масиви фокусної площини дозволяють зменшити розмір, вагу, потужність та вартість ІЧ- камер, роблять їх доступними для масових ринків, що охоплюють їхні програми. ІЧ-діапазон середньої довжини хвилі (MWIR) (3 - 5 мкм) є однією з найцікавіших ІЧ-областей для обстеження гарячих об'єктів та газової спектроскопії.

Технологія для цієї групи є еволюціонували від дорогих

військових систем, що охолоджуються, до дешевших для застосувань, що потребують одиниць низької вартості¹. Однак, мало охолоджених детекторів, здатних працювати при кімнатній температурі в діапазоні MWIR: полікристалічний свинцевий селенід (PbSe). Камери PbSe вбудовані без

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						43
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

температури система стабілізації, що дозволяє компактні та енергоефективні конструкції. Деякі проблеми, пов'язані з цією низькою вартістю технології, - це ефекти, пов'язані з природою матеріалу: висока $1/f$ частота шуму коліна, висока діелектрична константа і теплові дрейфи.³ Ці недоліки можна мінімізувати за допомогою вдосконаленої обробки та використання конкретних схем.

- це віднімання фону, яке, як правило, видаляє з поточного вимірювання оцінку темного поточного зображення

отримані із застосуванням механічного затвора.⁷ Більше того, кожен піксель FPA має унікальні робочі точки (зміщення) значення) та чутливості (посилення). Двоточкова корекція нерівномірності (NUC), яка набуває фони холодного та гарячого зображення традиційно використовується для пом'якшення цих наслідків.

2.6.4. PtSi

Силіцид платини, також відомий як моносиліцид платини, є неорганічною сполукою з формулою PtSi і утворює орторомбічну кристалічну структуру при синтезі.

Кристалічна структура PtSi є орторомбічною, кожен атом кремнію має шість сусідніх атомів платини. Відстань між кремнієм та платиновими сусідами є наступним: один на відстані 2,41 ангстрем, два на відстані 2,43 ангстрем, один на відстані 2,52 ангстрем, а останні два на відстані 2,64 ангстрем. Кожен атом платини має шість сусідів кремнію на однакових відстанях, а також два сусіди платини на відстані 2,87 та 2,90 ангстрем. Всі відстані понад 2,50 ангстрем вважаються занадто далекими, щоб дійсно бути залученими до взаємозв'язків сполуки. В результаті було показано, що два набори ковалентних зв'язків складають зв'язки, що утворюють з'єднання. Один набір - це три центральні зв'язки Pt-Si-Pt, а інший встановлюється

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						44
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

двома центральними зв'язками Pt- Si. Кожен атом кремнію в сполуці має одну трицентрову зв'язок і два центральні зв'язки. Найтонша плівка PtSi складалася б з двох чергуються площин атомів, одного аркуша орторомбічних структур. Більш товсті шари утворюються шляхом укладання пар чергуються листів. Механізм зв'язування між PtSi більше схожий на механізм чистого кремнію, ніж чистий платини або Pt₂Si, хоча експерименти виявили у PtSi характер металевого зв'язку, якого не вистачає чистому кремнію.

Нещодавно були розроблені та застосовані детектори масивів силіциду платини (PtSi) кількість застосувань для виконання інфрачервоних спостережень середньої хвилі (MWIR) та радіометрії¹⁻⁶. PtSi детектори мають дуже низьку квантову ефективність для виявлення випромінювання MWIR порівняно з комерційними доступні детектори антимоніду Indium (InSb). Крім того, замість відносно плоского спектрального відгуку крива InSb-детекторів, PtSi-детектори мають сильно залежну криву реакції на довжину хвилі. Однак, Детектори PtSi можуть бути виготовлені з використанням стандартних технологій обробки кремнію і можуть бути виготовлені зі значно більшою рівномірністю пікселів до пікселів, ніж у детекторах InSb^{6,7}. На жаль, сильний залежність довжини хвилі кривої реакції PtSi робить радіометрію набагато складнішою, ніж з плоскою детектор відповіді. Якщо хочеться описати оптичні характеристики спостережуваної цілі, її бажано описати ціл незалежно від датчика. Залежно від датчика це може бути більш-менш легко. Кінцевим спостереженням цілі є використання датчика з добре відомою функцією реакції на довжину хвилі та зробити ряд вимірювань інтенсивності в дуже вузьких оптичних діапазонах хвиль. З цього можна реконструювати спектральне випромінювання мішені. З багатьох причин, включаючи час збору та потужність сигналу, це так це неможливо, і замість цього проводиться єдине широкосмугове вимірювання цілі. Отриманий результат Вимірювання включає згортку функції відгуку

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						45
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

датчика довжини хвилі з цільовим спектром характеристики, щоб сформувати залежну від датчика кількість. Для того, щоб витягти сенсорні незалежні величини з при цьому вимірюванні необхідно зробити припущення щодо чутливості датчика і цільовий спектральний відповідь. У даній роботі буде розглянуто загальну проблему радіометричного вимірювання з використанням а датчик із сильною залежністю від сильної довжини хвилі з особливим акцентом на фокусну площину PtSit візуалізатор. Кінцевою метою цієї роботи буде отримання радіометричного опису невіршеної точки.

2.7. Insb сенсор

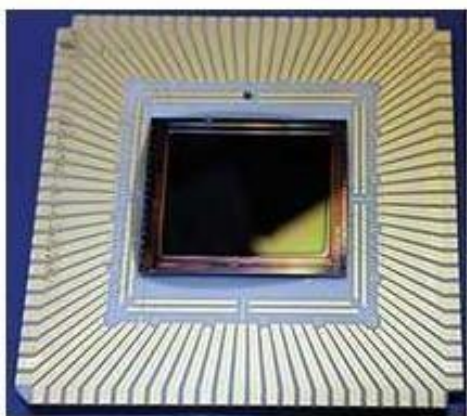


Рисунок 2.6 сенсор InSb

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						46
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

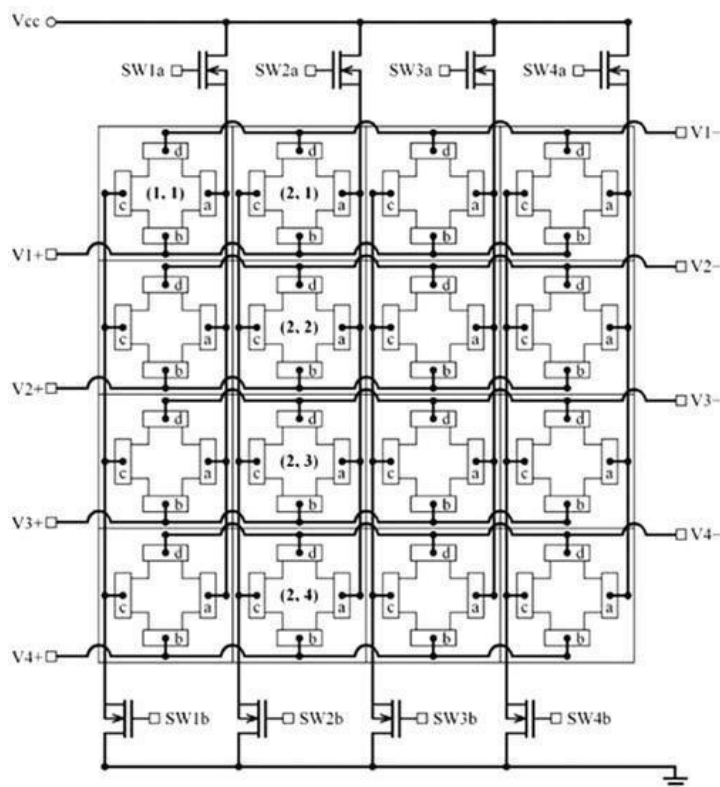


Рисунок 2.7 матриця сеносу

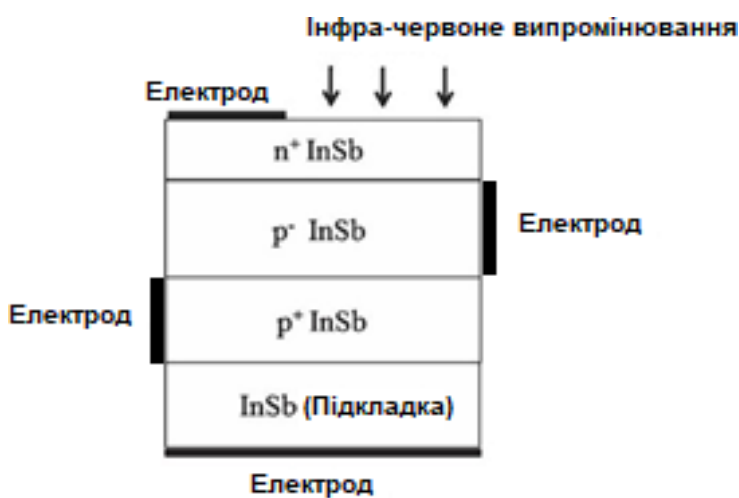


Рисунок 2.8 Структура кожного елементу матриці

Може зображувати газ метану зі швидкістю відео, використовуючи лише їх одно піксельний детектор та структуроване освітлення. Джерелом

світла є інфрачервоний лазерний діод працює на 1.651μм налаштована на лінію поглинання газу метану. Світло структурується за допомогою адресований мікро-дзеркальний масив для малювання лазерного виходу з послідовністю масок Адамара.

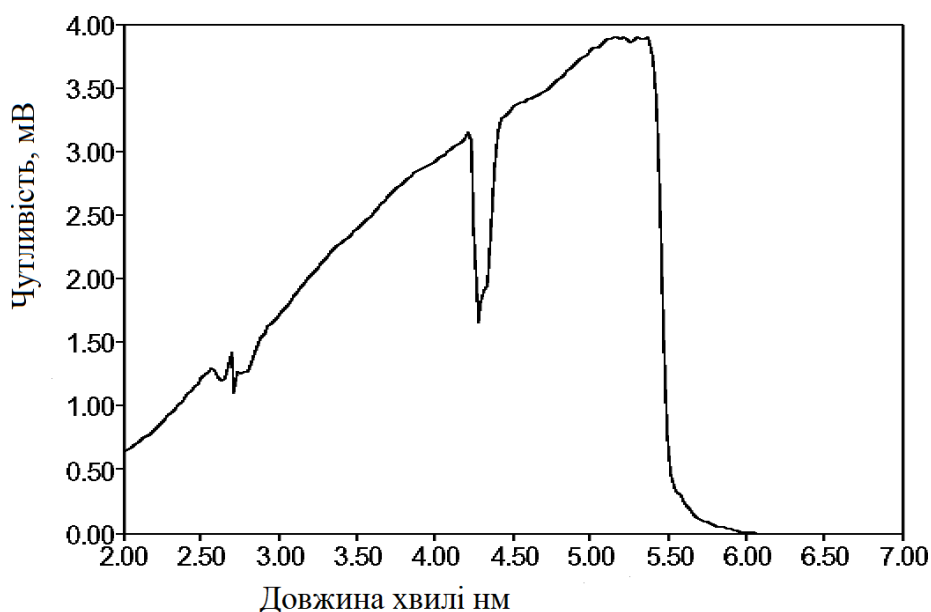


Рисунок 2.9 залежність чутливості сенсору від довжини хвилі

Отримане світло розсіяне світло записується за допомогою одного піксельного детектора InSb, який забезпечує міра кореляції між прогнозованими закономірностями та розподілом газу в сцені. Знання цього співвідношення та закономірностей дозволяє реконструювати зображення газу сцена. Для застосування локалізації витоків газу частота кадрів камери є первинною важливістю, яка в даному випадку обернено пропорційна квадрату лінійної роздільної здатності. Тут ми демонструємо газові зображення при ~25 кадрів в секунду, використовуючи 256 шаблонів масок (відповідні та роздільна здатність зображення 16x16). Та допомагаємо задачі розміщення джерела викидів газу, ми перекриває заражене зображення газового зображення низької роздільної здатності на колір високої роздільної

здатності зображення сцени, записане за допомогою стандартної камери CMOS.

2.8. Висновки

Переваги InSb:

1. Не схильні до впливу небезпечних хімічних середовищах.
2. На відміну від каталітичних датчиків ІЧ датчики не схильні до отруєння.
3. Не виявляють водень, що виключає перехресну чутливість.
4. CO₂ визначається без перешкод від інших газів.
5. Немає зниження точності визначення при дії високих концентрацій газів чи протягом тривалого періоду часу.
6. Стабільна та тривала експлуатація потребує мінімального часу на повірку.
7. Стабільність роботи навіть після тривалого зберігання.
8. Низька вартість володіння в порівнянні з каталітичними датчиками.

До недоліків слід віднести досить:

1. Високу ціну таких датчиків.
2. Додаткове охолодження під час роботи сенсора.

Інфрачервоні датчики знаходять широке застосування в системах контролю концентрації та вмісту різних газів на виробництві, в шахтах та тунелях, побутових газо-сигналізаторах. Незважаючи на більш високу в порівнянні з пеллісторними датчиками вартість, практика показує, що вкладення в систему безпеки повністю окупаються.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						49
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Загальний метод оцінки надійності радіоелектронної апаратури

Параметр надійності визначає період часу, протягом якого продукт збереже свої властивості.

Вихідними даними для розрахунку показників надійності типових конструкцій радіоелектронної апаратури (РЕА) є: принципова схема із позначенням типів деталей, що входять в неї, режим роботи всіх деталей (електричні, кліматичні та механічні), значення інтенсивності відмов всіх типів деталей при нормальних і фактичних режимах, значення середнього часу безвідмовної роботи і дисперсія для елементів, схильних до поступової відмови спрацювання.

Розглянуто два основні способи вирішення проблеми на основі аналізу опублікованих даних. Один із підходів - це відхилення ЕК на вхідному контролі з використанням спеціальних методів тестування в поєднанні з програмою тестування на випал. Це тестування виявляє компоненти із «прихованими дефектами», підробленими деталями та деталями з несумісними матеріалами як із внутрішніми, так і із зовнішніми умовами обслуговування. Інший підхід розглядає особливість створення ЕС з нанорозмірними параметрами. У цьому випадку модульний принцип застосовується для проектування пристроїв, що дозволяє значно знизити навантаження на окремі елементи, а несправність дискретного модуля спричиняє його відключення від схеми з подальшим переналаштуванням структури ЕК. Ми показуємо, що загалом проблема підвищення надійності - це складне завдання, пов'язане з розробкою оптимальної структури елементів ІС, усвідомленим вибором матеріалів, тестуванням та оптимізацією схемних рішень.

Набір передбачає вхідні огляди, скринінг-тести, діагностичні неруйнівні

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						50
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

тести та випадкові деструктивні тести. Це призведе до відмови від найбільш ненадійних компонентів. З метою підвищення загальної надійності електронної системи застосовується принцип множинних надмірностей для найважливіших компонентів, коли це необхідно, і призначається режим часткового навантаження роботи ЕК. У загальному випадку вхідна перевірка проводиться в межах приймальних випробувань, включаючи випробування зовнішнього вигляду та перевірку електричних параметрів, що відображають якість продукції. Екранізації випробування включають випробування на випал, тепловиділення та гаряче замочування. Діагностичні неруйнівні тести проводяться з інформативними параметрами з використанням графіків та умов, що сприяють прояву дефектів, а також на основі результатів оцінки дрейфу параметрів після тесту. Випадковий деструктивний фізичний аналіз застосовується з метою оцінки збереження параметрів проектування та процесу ЕК.з.

Якщо за 100 годин виріб набирає 0.01 відмови, то за одну годину роботи це число повинно бути в 100 разів менше, тобто 0.0001 відмови в годину. Ця величина називається частотою або інтенсивністю відмов і є величиною оберненою до середнього часу безвідмовної роботи.

Ця величина є статистичною, усередненою, справедливою для досить великої кількості виробів і в межах ресурсного періоду, тобто в межах середнього терміну служби виробу. Цією величиною можна характеризувати і надійність окремих елементів апаратури, і всього електронного обладнання. Інтенсивність відмов електронної апаратури буде дорівнює сумі інтенсивності відмов всіх елементів цієї апаратури:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i h_i$$

де λ_i - інтенсивність відмов. Тоді напрацювання на відмову:

де λ_i - інтенсивність відмов. Тоді напрацювання на відмову:

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						51
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t = \frac{1}{\Lambda}$$

3.2 Розрахунок надійності приладу, що розробляється

Завданням розрахунку є визначення ймовірності $P(t)$ безвідмовної роботи на 100 годин експлуатації і загальний час безвідмовної роботи $t(m)$. Ймовірність безвідмовної роботи повинна враховувати відмови: катастрофічна (раптова), параметрична (поступова).

При роботі елементів РЕА та всього пристрою в цілому використовується ряд положень надійності:

1. Ймовірність безвідмовної роботи елементів РЕА одного типу:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t),$$

де N - число компонентів в елементі, P_i - ймовірність безвідмовної роботи компонента i -го числа.

2. При нормальній експлуатації в лабораторних умовах ($t, ^\circ\text{C} = 20$), коли

закінчений період «пристосування» деталей, інтенсивність відмов може бути прийнята постійною. Є спеціальна довідкова таблиця, де вказується інтенсивність відмов для всіх компонентів РЕА. Для елементів, що складаються з групи компонентів, сумарна інтенсивність визначається як:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N N_i \lambda_i$$

3. Величина напрацювання на відмову (час безвідмовної

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						52
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи) визначається за законом:

$$t_m = \int P(t)dt = \int \lambda_{-\lambda t} dt = 1 / \lambda_{заг} ,$$

4. де $\lambda_{заг}$ дорівнює λ_{Σ} з урахуванням поправкових коефіцієнтів на умови експлуатації.

Імовірність безвідмовної роботи за час t :

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

де t береться як правило рівним 1000 годин. [5]

Перша тенденція стосується все більшого використання комерційних компонентів у військовій техніці (МЕ) через гостру необхідність скоротити витрати на розробку та випробування продукції та скоротити час запуску виробництва.

Більшість із цих застосувань мають суворі вимоги до надійності (надійності та доступності), оскільки несправність системи може призвести до економічних втрат, до небезпеки людей або до екологічної шкоди. Серед різних типів несправностей, які можуть призвести до виходу з ладу системи, основний вплив мають постійні несправності мережевих пристроїв. Вони можуть перешкоджати комунікації протягом тривалого періоду часу і, отже, порушувати або навіть відключати алгоритми управління. Відсутність структурованого підходу, що дозволяє оцінювати постійні несправності, заважає дизайнерам систем оптимізувати рішення, що мінімізують ці події.

Температура може змінюватися в межах від 20 °C (нормальні лабораторні умови) до 60 °C і вище. В даному проекті проводиться розрахунок пристрою в екстримальних умовах, вважатимемо, що елемент працює зі 100% навантаженням тобто $K_n = 1$.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						53
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижче, в таблицях 3.1-3.4 показано значення поправкового температурного коефіцієнта K_T для електронних компонентів, що застосовуються при розробці схеми електронного інфрачервоного датчика присутності відповідно до специфікації. В таблиці 3.5 показано перелік елементів, що використовуються для розробки друкованої плати та їх параметри, що необхідні для розрахунку показника надійності. [6]

Таблиця 3.1

Значення температурного коефіцієнта K_T для германієвих резисторів в залежності від температури

$T, ^\circ\text{C}$	K_T
20	1
30	1.5
40	1.9
50	2.5
60	3.2

Таблиця 3.2

Значення поправкового температурного коефіцієнта K_T для арсенід-галієвих діодів в залежності від температури

$T, ^\circ\text{C}$	K_T
20	1
30	1.15
40	1.2
50	1.25
60	1.5

Таблиця 3.3

Значення температурного коефіцієнта K_T для інтегральних мікросхем в залежності від температури

$T, ^\circ\text{C}$	K_T
20	1
25	1
45	1.2
60	1.5

Значення поправкового температурного коефіцієнта K_T для інтегральних мікросхем в таблиці 3.3 аналогічні для кремнієвих транзисторів, що використовуються при розробці схеми.

Схоже значення поправкового температурного коефіцієнта K_T мають ІЧ та фото-діоди, а при екстремальних умовах використання вони матимуть майже ідентичне значення $K_T=1.5$, для динамічної головки (гучномовця) це значення становить також 1.5.

Значення поправкового температурного коефіцієнта K_T для керамічних конденсаторів в залежності від температури

$T, ^\circ\text{C}$	K_T
20	1
30	1.2
40	1.4
50	1.6
60	2.0

Таблиця 3.4

$T, ^\circ\text{C}$	K_T
20	1
30	1.2
40	1.4
50	1.6
60	2.0

Будемо вважати, що всі конденсатори керамічні, монолітні одного типу, для спрощення розрахунку, це майже не вплине на розрахунок параметра надійності, адже металеві-плівкові конденсатори і керамічні мають схоже значення параметру поправкового температурного коефіцієнта K_T при температурі 60°C (2,0).

Значення поправкового коефіцієнту для резисторів береться на прикладі германієвих резисторів типу ОМЛТ-0.125.

У реальних умовах експлуатації елементи РЕА можуть піддаватися впливу: вібрації, ударів, тиску, сонячної і проникаючої радіації та інших факторів. Тому надійність елементів реальної апаратури значно відрізняється від надійності апаратури в лабораторних умовах експлуатації елементів.

Орієнтовний розрахунок проводиться за допомогою інтегрального поправочного коефіцієнта K_λ . За технічними умовами пристрій відноситься до стаціонарно-наземних пристроїв, тобто $K_\lambda = 10$.

Відповідно до компонентної бази пристрою, було підібрано основні параметри, необхідні для розрахунку показника надійності пристрою в екстремальних умовах. Вважатимемо, що елемент працює зі 100% навантаженням тобто $K_n = 1$. Всі необхідні параметри структуризовані в таблиці 3.5, нижче проведено розрахунок показника надійності. Інтенсивність відмов

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						56
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

електронних компонентів P_i була взята в додатковій літературі. [6]

Таблиця 3.5

Перелік елементів, що використовуються для розробки друкованої плати та їх параметри, що необхідні для розрахунку показника надійності

Елементи та вузли	Кількість, N_i	Кт	Інтенсивність відмов, λ_i
Мікросхеми	1	1.5	$0.2 \cdot 10^{-6}$
Конденсатори	6	2.0	$0.5 \cdot 10^{-6}$
ІЧ-діод	1	1.5	$0.5 \cdot 10^{-6}$
Резистори	3	3.2	$0.1 \cdot 10^{-6}$
Дісплей	1	1.5	$0.1 \cdot 10^{-6}$
Сенсор	1	1.6	$0.1 \cdot 10^{-6}$
Кварцевий резонатор	1	2.0	$0.1 \cdot 10^{-6}$
Стабілізатор напруги	1	1.7	$0.1 \cdot 10^{-6}$

Розрахунок показника надійності

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						57
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_0 = N_i \cdot \lambda \cdot K_T = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 2,0 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 3,2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} + 1,6 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 1,7 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 8,69 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{роз}} = \lambda_0 \cdot K_{\lambda} = 8,69 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 8,69 \cdot 10^{-5}$$

$$1/8,69 \cdot 10^{-5} = 1150 \text{ год}$$

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_m}} = e^{1000/1150} = 2,718^{-0,8695} = 0,4191$$

3.3. Висновки

Було розраховано показник надійності ІЧ датчика присутності. Розрахунок показника надійності датчика, було отримано при роботі пристрою протягом 1000 годин в екстремальних умовах. Отриманий результат 0,4191, це свідчить про те, що даний пристрій може працювати в екстремальних умовах протягом 1000 годин, і це не буде для нього критичним, він не вийде з ладу, звичайно розрахунок є приблизним, але навіть так, можна сказати, що дана схема є дуже доброю та надійною, адже в реальних умовах він зможе працювати довше та надійніше, оскільки розрахунок проводився в екстремальних умовах.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						58
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

4.1. Атмосферні вікна

Інфрачервоне атмосферний вікно є загальним динамічним властивістю в атмосфері Землі, взятої в цілому на кожне місце і зв'язок інтересу, що дозволяє деякий інфрачервоне випромінювання від хмар і землі поверхні моря проходить безпосередньо в простір без проміжного поглинання і повторно викидів і, таким чином, без нагрівання атмосфери. Дана властивість дозволяє частини інфрачервоного (теплого) випромінювання, що виходить від поверхні хмар, земної та морської поверхні, йти в космос без відчутного поглинання та перевипромінювання, отже - без відчутного нагріву самої атмосфери.

Водяна пара та гази, що входять до атмосфери Землі, як правило, поглинають інфрачервоне випромінювання, що надходить із об'єкта, та тому стає сильно ослабленим, якщо радіація повинна бути виявлена на великих відстанях від об'єкта.

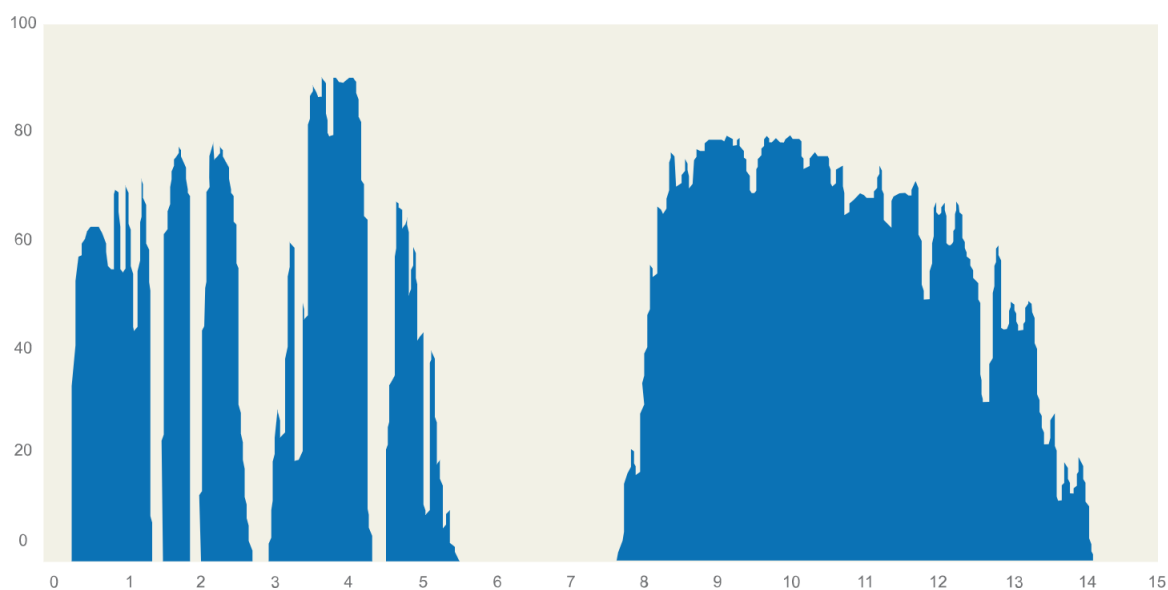


Рисунок 4.1 атмосферне вікно у інфрачервоному сектрі

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						59
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Його не можна визначити просто як частину або набір частин електромагнітного спектру, оскільки спектральний склад випромінювання вікон сильно змінюється в залежності від різних місцевих умов навколишнього середовища, таких як вміст водяної пари та температура поверхні суші-моря, і тому, що мало або взагалі частин спектру просто не поглинається і тому, що частина дифузного випромінювання проходить майже вертикально вгору, а частина - майже горизонтально. Великий розрив у спектрі поглинання водяної пари, основного парникового газу, є найважливішим у динаміці вікна. Інші гази, особливо вуглекислий газ та озон, частково блокують передачу.

Вікно не може бути чітко визначено, як частина чи ряд частин електромагнітного спектра випромінювання, через сильно варіюється спектрального складу вікна та місцевих умов навколишнього середовища (водяна пара, температура випромінюючої поверхні та .), що перешкоджає проходженню випромінювання. З цієї ж причини властивості вікна різні в залежності від напрямку поширення випромінювання (вертикально вгору чи паралельно земної поверхні). Солідний внесок в спектр поглинання вносить водяна пара (такзваний «парниковий газ», поряд з вуглекислим газом, метаном, закисом азоту та озоном), що робить його найважливішим фактором у варіації властивостей вікна.

Важливо розуміти різницю між поняттями «атмосферний вікно» та «спектральний вікно». Атмосферний вікно - динамічне (мінливий) властивість атмосфери, а то час, як спектральний вікно - постійна характеристика поглинання випромінювання безлічі парникових газів. Атмосферний вікно каже, що конкретно в даний момент відбувається в атмосфері, а спектральний вікно показує вплив тільки одного з безлічі чинників на загальну картину.

Таким чином, для виявлення ІЧ-сигналу необхідно використовувати так звані атмосферні вікна. По суті є два інфрачервоні атмосферні вікна (смуги):

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						60
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

вікна короткої / середньої хвилі, що охоплюють 2–5,6 мкм, та довго-хвильове вікно, що охоплюють приблизно від 7,5 до 14 мкм. Склад матеріалів детекторів підбирається для чутливості до однієї смуги. Це та описує спектр камер для виявлення та детекції газу.

4.2. Дивлячись глибше на оптичні знімки газу

Оптична камера для візуалізації газу є вузькоспеціалізованою версією ІЧ- чи тепловізійної камери. Він складається з лінзи, детектора, електроніки, що обробляє сигнал від детектора, та видошукача чи екрана, щоб користувач міг бачити зображення, створене камерою. Оптичну картинку газу можна порівняти з переглядом відеокамери - оператор бачить, як видуває шматок газу, який інакше був би абсолютно невидимий неозброєним оком. Газовий шлейф виглядає так, ніби він виходить із палаючого предмету, майже як дим від сигарети чи сигари.

Щоб побачити цей шматок газу, камера використовує унікальний метод спектрального фільтра, який дозволяє йому виявляти певну газову сполуку. Фільтр встановлюється перед детектором та охолоджується разом з ним для запобігання будь-якого обміну випромінюванням між фільтром та детектором. Фільтр обмежує довжину хвилі випромінювання, що дозволяє пройти через детектор до дуже вузької смуги, званої смугою пропускання. Ця методика називається спектральною адаптацією.

Камери використовують квантові детектори, які потребують охолодження до криогенних температур (близько 70 К чи -203 ° С). Камери середньої хвилі, які виявляють вуглеводневі гази, такі як метан, зазвичай працюють в діапазоні 3-5 мкм (мкм) та використовують детектор антимоніду індію (InSb). Камери з довгими хвилями, які виявляють такі гази, як гексафторид сірки, мають тенденцію працювати в діапазоні 8-12 мкм та використовувати квантовий добре інфрачервоний фотодетектор .

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		61

Камери OGI використовують переваги поглинаючої природи певних молекул, щоб візуалізувати їх у рідному середовищі. Масиви фокусних площин камери та оптичні системи спеціально налаштовані на дуже вузькі спектральні діапазони, порядку сотень нанометрів, та тому є ультраселективними. Виявляти можуть лише гази, поглинаючі в інфрачервоній області, які обмежені вузькосмуговим пропускним фільтром. Для більшості газових сполук характеристики інфрачервоного поглинання залежать від довжини хвилі.

Якщо камера спрямована на місце події без витоку газу, об'єкти в полі зору будуть випромінювати та відбивати інфрачервоне випромінювання через об'єктив та фільтр камери. Якщо між об'єктами та камерою існує газове хмара та газ поглинає випромінювання в діапазоні пропускання смуги фільтра, кількість випромінювання, що проходить через хмару, до детектора зменшиться. Щоб побачити хмару по відношенню до фону, між хмарою та фоном повинен бути променистий контраст.

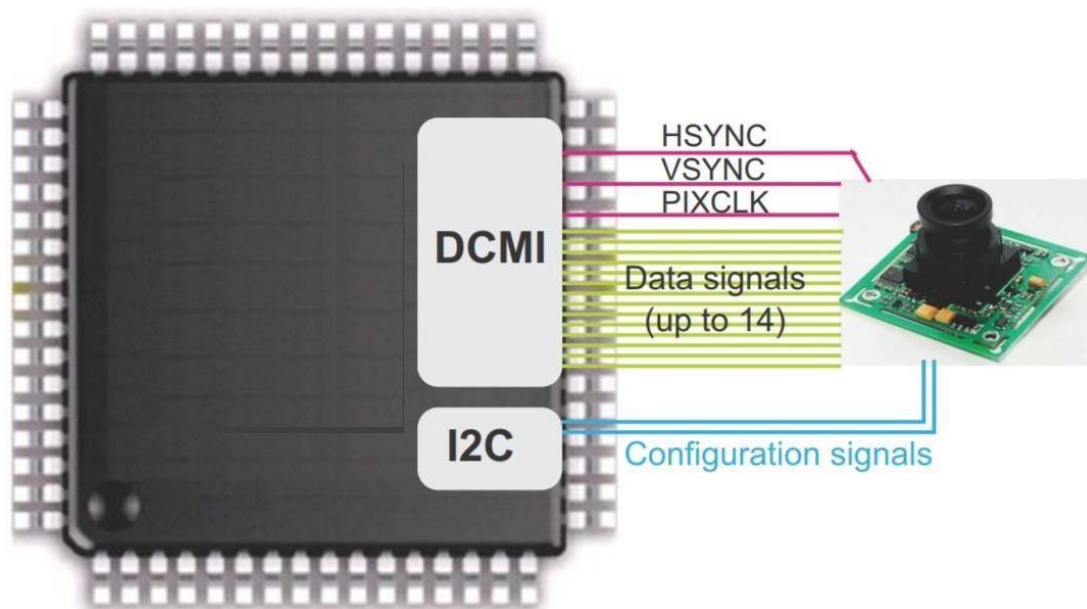


Рисунок 4.2. підключення MCU до камери/сенсору інтерфейсу

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						62
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Figure 18. Frame structure in hardware synchronization mode

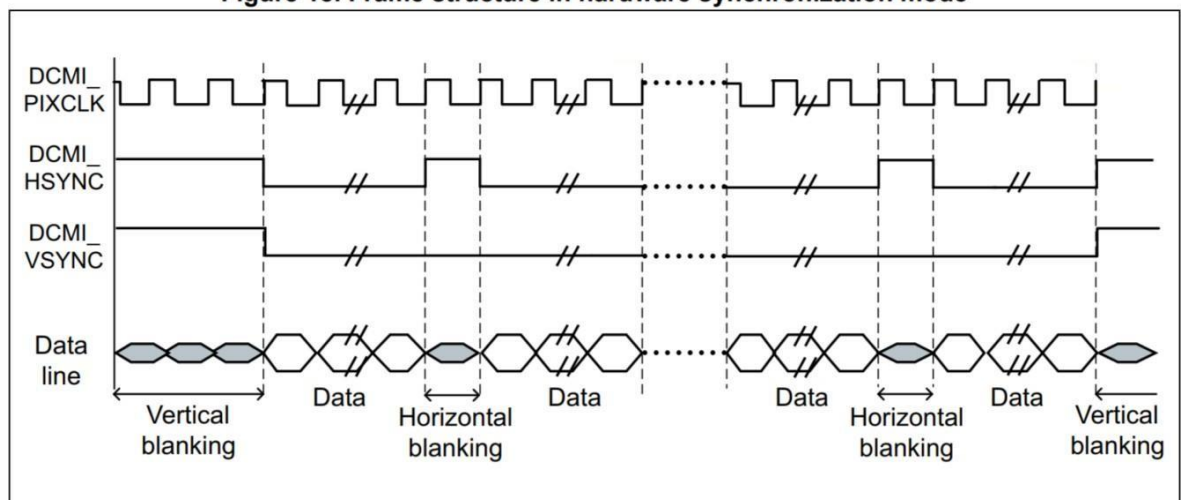


Рисунок 4.3 тактування мікроконтролера

У цьому випадку для синхронізації використовуються коди розмежувача. Ці коди вбудовані в потоці даних, щоб вказати початок / кінець рядка чи початок / кінець кадру. Примітка. Ці коди підтримуються лише для 8-бітної паралельної ширини інтерфейсу даних. Для інших ширини даних, цей режим генерує непередбачуваний результат, що використовуватися у подальшому аналізі. Коди усувають необхідність DCMI_HSYNC та DCMI_VSYNC для сигналізації про закінчення / початок ліній чи рамок. Коли використовується цей режим синхронізації, є два значення, які не повинні використовувати для даних: 0 та 255 (0x00 та 0xFF). Ці два значення зарезервовані для даних цілі ідентифікації. Контролювати значення даних залежить від модуля камери. Для цього причина, дані зображення можуть мати лише 254 можливі значення (0x00 < значення даних зображення < 0xFF). Кожен код синхронізації складається з 4-байтової послідовності 0xFF 00 00 XY, де розміщено всі коди мають однакову першу 3-байтну послідовність 0xFF 00 00. Лише остаточно 0xXY запрограмований для позначення відповідної події.



Рисунок 4.4 узагальнена структура способу вимірювання

Серед усіх засобів надавання інформації можна виділити телевізійні систем, що мають найбільший показник інформативності серед усіх наявні, які використовуються для аналізу оптичних полів різноманітного походження.

При цьому наявний постійно зростаючий попит на засоби вимірювання з характеристиками, які можуть бути забезпечені тільки телевізійною системотехнікою. Робляться численні спроби вирішення важливих задач в астрономії, на транспорті, в металургійному виробництві, в лазерних та електронно-променевих технологіях обробки матеріалів, в медичній діагностиці тощо.

Системи екологічного моніторингу атмосфери, що зараз існують, базуються переважно моделях розроблених на математичних принципах розповсюдження забруднювачів, отримані результати співставляються з результатами реальними, що були отримані по схемі контрольних точок.

Спектральний діапазон вибирається за характеристиками оптичної системи, що забезпечує деяке поле зору, а також погоджується динамічний діапазон з діапазоном яскравості об'єкта.

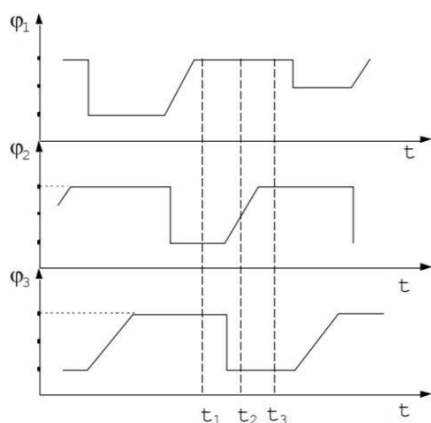


Рисунок 4.5 Епюри фазових напруг

Цикл напруг, зображений на рис послідовно повторюється, заряди переходять від одного електроду до іншого та доходять до вихідного елемента, де сигнал приймається та підсилюється.

На першу матрицю — генеруючу — падає світловий потік, а друга — матриця пам'яті — ізолювана від світлового потоку та використовується для зчитування сигналу. Передача зарядів з першої до другої матриці відбувається аналогічним методом формування послідовності напруг.

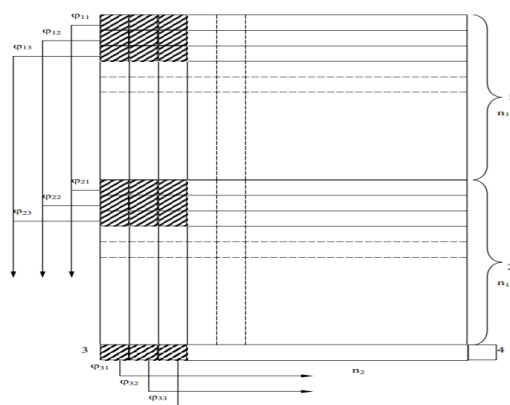


Рисунок 4.6 Схема передачі сигналу в ПЗЗ матриці

Потім зарядова картина за допомогою імпульсів U_{11} , U_{12} , U_{13} , U_{21} ,

U22,

U23 переводиться в секцію 2. Секції розділені оптично, а їх електронна схема спільна. Перші цифри в позначенні імпульсів введені для наочності. Час передачі визначається співвідношенням $t_1 = n_1 / f_1$, де n_1 — кількість рядків в кожній секції, f_1 — частота передачі рядків. В секції 2 заряди рядками переводяться в реєстр 3, та по елементно імпульсами U31, U32, U33 на вихідний елемент 4. Час передачі одного рядка через вихідний елемент $t_2 = n_2 / f_2$, де n_2 — кількість елементів в рядку, f_2 — частота передачі. На передачу однієї зарядової картини на вихідний елемент потрібен час $t_3 = n_1 n_2 / f_2$.

До основних паспортних характеристик ПЗЗ належать: робоча освітленість E -освітленість, яка забезпечує номінальні значення параметрів; область спектральної чутливості $P S(t)$ - інтервал між двома значеннями \min та \max , для яких чутливість дорівнює $0,1 S_{\max}$; нерівномірність сигналу N_s по полю зображення-відхилення сигналу від його середнього значення при однаковій освітленості мішені; роздільна здатність.

4.3 Компоненти з яких складається інфрачервоний газоаналізатор

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						66
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

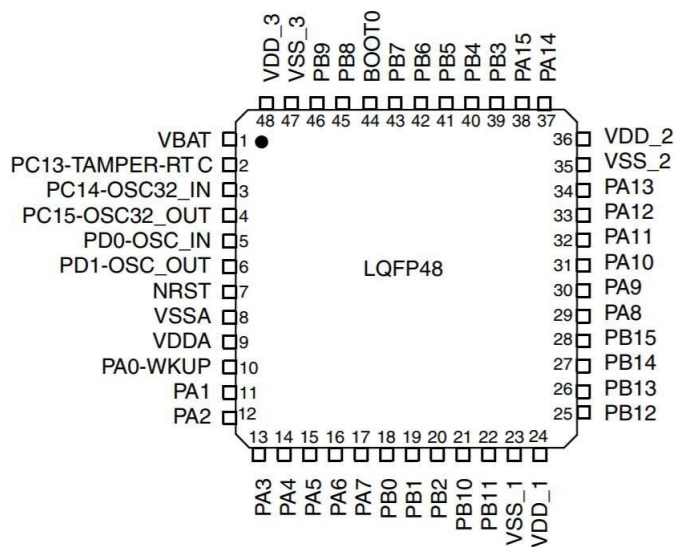


Рисунок 4.7 Структура мікроконтролера STM32f104

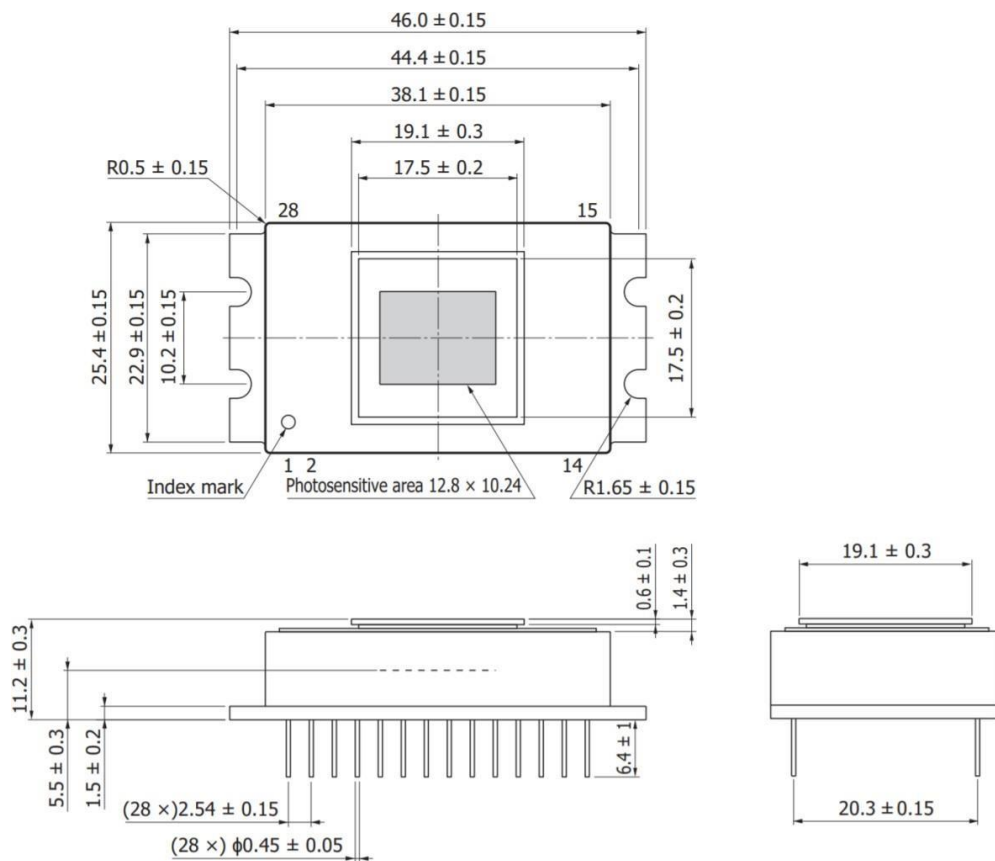


Рисунок 4.8 датчик оптичного газоаналізатора

DB00-DB15	шина даних
/CS	Chip Select
RS (DC по даташиту)	команда / дані
/WR	строб запису
/RD	строб читання
/RESET	апаратне скидання
IM0, IM3	вивід конфігурацій шини
Y-, Y+, X-, X+	вивід тачскрина
LEDA, LEDK1-LEDK4	вивід діодів підсвітки
VDD	живлення
GND	земля

Таблиця 4.1 розпінування екрану

Pin no.	Name	Input/output	Function	Remarks
1	PD_bias	Input	Photodiode bias voltage	3.0 V
2	Vb1	Input	Pixel bias voltage	0.5 V
3	TE(+)	Input	Thermoelectric cooler (+)	
4	NC	-	-	
5	Vref	Input	Video reference voltage	3.0 V
6	VIDEO-S1	Output	Video output after integration (port 1)	2.9 to 4.0 V typ.
7	VIDEO-R1	Output	Video output after reset (port 1)	2.9 V typ.
8	Vss	Input	0 V ground	0 V
9	VIDEO-S2	Output	Video output after integration (port 2)	2.9 to 4.0 V typ.
10	VIDEO-R2	Output	Video output after reset (port 2)	2.9 V typ.
11	VIDEO-S3	Output	Video output after integration (port 3)	2.9 to 4.0 V typ.
12	VIDEO-R3	Output	Video output after reset (port 3)	2.9 V typ.
13	VIDEO-S4	Output	Video output after integration (port 4)	2.9 to 4.0 V typ.
14	VIDEO-R4	Output	Video output after reset (port 4)	2.9 V typ.
15	Vdd	Input	+5 V power supply	5 V
16	THERM	Output	Thermistor	
17	THERM	Output	Thermistor	
18	D_Vdd	Input	+5 V power supply (digital)	5 V
19	NC	-	-	
20	AD_Trig	Output	A/D sampling signal	Synchronized with falling edge
21	MSP	Input	Frame scan start pulse	
22	MCLK	Input	Control pulse for timing generator	Synchronized with falling edge
23	D_Vdd	Input	+5 V power supply (digital)	5 V
24	Port_sel	Input	Readout port	Fixed at 5 V
25	Mode2	Input	Operation mode 2	Fixed at 0 V
26	TE(-)	Input	Thermoelectric cooler (-)	
27	Mode1	Input	Operation mode 1	Fixed at 5 V
28	NC	-	-	Do not ground.

Таблиця 4.2 розпінування сенсор

Характеристики SSD1289:

- Драйвер одноконтролевого мікроконтролера 240RGBx320

					МП.171.081.003 ПЗ	Арк
						68
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

для 262- кольорового аморфного TFT LCD

- Блок живлення

- $V_{DDEXT} = 1,4 \text{ В} - 3,6 \text{ В}$ (внутрішня логіка)

$V_{DDIO} = 1,4 \text{ В} - 3,6 \text{ В}$ (інтерфейс вводу / виводу)

- $V_{CI} = 2,5 \text{ В} - 3,6 \text{ В}$ (джерело живлення для внутрішнього аналогового контуру)

- Вихідні напруги

- Водій воріт:

$V_{GH-GND} = 9\text{В} \sim 15 \text{ В}$ $V_{GL-GND} = -7 \sim -15 \text{ В}$ $V_{GH-VGL} = 30\text{Vp-p}$

- Джерело драйвера: $V_0 - V_{63} = 0 - 5\text{В}$

Типове коливання вихідної напруги на джерелі: $\pm 10 \text{ мВ}$

- привід V_{COM} :

$V_{COMH} = 3,0 \text{ В} \sim 5,0 \text{ В}$ $V_{COML} = -2,0\text{В} \sim -3,0\text{В}$ $V_{COMHA} = 5,5 \text{ В}$

- Системний інтерфейс

- Високошвидкісний інтерфейс через 8 / 9- / 16- / 18-бітні серії 6800 / паралельні 8080 серії

- Послідовний периферійний інтерфейс (SPI)

- Інтерфейс відображення рухомих зображень

- 6- / 16- / 18-бітний RGB-інтерфейс (DEN, DOTCLK, HSYNC, VSYNC, DB17-0)

- інтерфейс VSYNC (системний інтерфейс + VSYNC)

- інтерфейс WSYNC (системний інтерфейс + WSYNC)

- Підтримка низького енергоспоживання:

- джерело низької напруги

- Низький поточний режим сну

- 8-кольоровий режим відображення для економії енергії

- Функція розподілу заряду для посиленних ланцюгів

- Високошвидкісні функції RAM-адреси

- Функція синхронізації запису оперативної пам'яті

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						69
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція адреси вікна

- Відображати дані оперативної пам'яті та загальні дані вибірково та одночасно
- Функція вертикальної прокрутки
- Зображення в режимі зображення
- Частковий режим відображення
- Внутрішня схема живлення
- Генератор напруги
- Перетворювач постійного струму до 6х / -6х
- Вбудований внутрішній генератор
- Внутрішня ємність GDDRAM: 172800Byte
- Підтримка кадру та інверсії змінного струму
- Ємність для зберігання TFT: Cs на загальних та Cs на воротах
- Підтримка керування джерелом та напрямком сканування воріт
- Програмована крива корекції гамми
- 4 Попередньо задана крива корекції гамма
- Вбудована енергонезалежна пам'ять для калібрування VCOM Розмір
- Підтримка гнучких розташувань затворів з обох сторін скляної підкладки

Характеристики G13393-0909W:

- Одиниця специфікації параметра
- Розмір зображення 12,8 × 10,24 мм
- Охолодження Двоступеневе ТЕ-охолодження -
- Загальна кількість пікселів 640 × 512 (327680) пікселів
- Кількість ефективних пікселів 640 × 512 (327680) пікселів
- Розмір пікселів 20 × 20 мкм
- Крок пікселя 20 мкм

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						70
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Коефіцієнт заповнення 100%
 - 28-контактний металевий пакет (див. Розмірний контур) -
- Матеріал вікна Сапфірове скло з антивідбивним покриттям –
- Напруга живлення Vdd -0,3 до +5,5 V
 - Тактова імпульсна напруга V (MCLK) Vdd + 0,5 B
 - Початкова імпульсна напруга V (MSP) Vdd + 0,5 V
 - Робоча температура * 1 * 2 Topr 0 до +60 ° C
 - Температура зберігання * 2 Tstg -20 до +70 ° C
 - Допустимий струм охолоджувача TE Ic 2,8 A
 - Допустима напруга охолоджувача TE Vc 4,0 B
 - Розсіювання потужності термістора Pth 0,2 мВт

Характеристики STM32f103cb

Макс. Тактова частота процесора 24 - 72 МГц Мікро-архітектура
ARM Cortex-M3

- Основна:
- Ядро ARM Cortex-M3 з максимальною тактовою частотою 48 МГц.
- Пам'ять:
- Статична оперативна пам'ять складається з 48 Кб.
- Flash складається з 16 Кб.
- Периферія:

Кожна серія F1 включає в себе різні периферійні пристрої, які змінюються від лінії до лінії.

4.4. Висновки:

Були розглянуті атмосферні вікна, що заважають вимірюванню. А також у цій частині були розглянуті основні компоненти кінцевого пристрою,

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						71
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

обрані їх характеристики та підібрані для відповідної спільної роботи. Був обраний мікроконтролер, екран, саме сенсорний пристрій та розроблена частина для забезпечення постійною напругою на мікроконтролер та екран, що забезпечить безперебійність роботи та відсутність сплесків в напрузі та як наслідок виходу пристрою з робочого стану.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						72
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі були дослідженні сенсори, що дають змогу побачити щільність розподілу метану у атмосфері, були розглянуті основні принципи роботи оптичного газоаналізатору та сконструйована його модель.

Даний газоаналізатор розрахований на вимірювання концентрації та відслідковування у просторі положення газу. Газ, який вимірюється –метан.

Даний газоаналізатор добре підходить для вимірювання концентрації у просторі та визначення місця забруднення і як наслідок вирішення самої проблеми забруднення.

Газоаналізатор є корисним у тих місцях, де є з'єднання труб чи є можливість витоку газу метана, що дає змогу швидко визначити проблему та вирішити її.

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						73
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.
2. Paul D. Lundegard, in Environmental Forensics, 1964
3. Кабанов М. В., Андрєєв Ю. М., Гейко П. П. Моніторинг емісії антропогенного та природного метану / Докл. II Міжнар. конф. зі скорочення емісії метану. Новосибірськ, 2000. 800 с.
4. Лазерний контроль атмосфери / Е. Д. Хінклі. М., 1979. 416с.
5. Orton, J. W., "Semiconductors and the Information Revolution: Magic Crystals that Made IT Happen," pp. 138-139, Academic Press (2009)
6. <http://www.teledynejudson.com/products/indium-antimonide-detectors>
7. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, 589 стр, 2011
8. Hongzhi Chen, ... Meyya Meyyappan, in Nano Optoelectronic Sensors and Devices, 2012
9. Egorov AA, Egorov MA, Tsareva Yu.I., and Chekhlova TK Study of the integrated-optical concentration sensor for gaseous substances // *Laser Physics* , 2007, V. 17, pp. 50-53.
 . [Egorov](#) AA, Egorov MA, Smoliakov RB, Chekhlova TK, Timakin AG Integrated-optical low-loss PbO₂ diffusion waveguide sensitive chemical sensor // *Journal of Radio Electronics* , 2007, No. 5.
10. Алейников А.Ф., Цапенко М.П. Про класифікацію датчиків // Датчики та системи , 2000, № 5, С. 2-3.
11. Хансперджер Р. **Інтегральна оптика: Теорія та технологія** . - М. : Мир, 1985.
12. Кулябин Є.Ю., Сидоренко М.В. Ліхеноіндикаційний моніторинг якості повітряного середовища нижегородської області //

					МРП.171.081.003 ПЗ	Арк
						74
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Известия Самарського наукового центру РАН. Біологія та Екологія, 2002 4, С. 216-222.

13. Демтрёдер В. Лазерна спектроскопія: Основні принципи та техніка експерименту. - М.: Наука, 1985.

14. Карубі І., Тернер Е., Вілсон Дж. Біосенсори. М.: Мир, 1992.

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f205rb.pdf>

16. Winkler, R. *Spin-Orbit Coupling Effects in Two-Dimensional Electron and Hole Systems* (Springer, 2003).

17. Streda, P. & Seba, P. Antisymmetric spin filtering in one-dimensional electron systems with uniform spin-orbit coupling. *Phys. Rev. Lett.* **90**, 256601 (2003).

18. "Structural and electronic properties of narrow-band-gap semiconductors: InP, InAs, and InSb" S. Massidda, A. Continenza, A. J. Freeman, T. M. de Pascale, F. Meloni, and M. Serra, *Phys. Rev. B* **41**, 12079 (1990).

19. J. A. Alexander-Webber et al. "High-current breakdown of the quantum Hall effect and electron heating in InSb/AlInSb", *Phys. Rev. B* **86**, 045404 (2012)

20. <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InSb/index.html>

21. Semiconductors and Semimetals Edited by R.K. Willardson, Albert C. Beer Volume 12 Pages (1977)

22. Hu, W.D., Chen, X.S., Ye, Z.H., Meng, C., Lv, Y.Q., Lu, W.: Effects of absorption layer characteristic on spectral photo response of mid-wavelength InSb photodiodes. *Opt. Quant. Electron.* **42**, 801–808 (2011)

23. Benson, Robert G.; Forrest, William J.; Pipher, Judith L.; Glaccum, William J.; Solomon, Steven L.: 2000, in Marija Strojnik; Bjorn F. Andresen; (Eds.), *Infrared Spaceborne Remote Sensing VIII*, Proc. SPIE Vol. 4131, p.

					МП.171.081.003 ПЗ	Арк
						75
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Figer, Donald F., et al.:2004, in Grycewicz, Thomas J.; McCreight, Craig

R. (Eds.), Focal Plane Arrays for Space Telescopes ,Proc. SPIE, Volume 5167, pp. 270-301,...

25. Meng, Q.D., Zhang, X.L., Lü, Y.Q., Si, J.J.: Calculation and verification of thermal stress in InSb focal plane arrays detector. Opt. Quant. Electron. **49**, 402– 1– 11 (2017b)

26. Zhang, X.L., Meng, Q.D., Zhang, L.W., Lü, Y.Q.: Modeling and deformation analyzing of InSb focal plane arrays detector under thermal shock. Infrared Phys. Technol. **63**, 28–34 (2014)

					МПП.171.081.003 ПЗ	Арк
						76
Змін.	аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А Лістинг програми вмикання екрану

```
#define LCD_CS PH_ODR_bit.ODR4
#define LCD_RS PH_ODR_bit.ODR5
#define LCD_WR PH_ODR_bit.ODR6
#define LCD_RD PH_ODR_bit.ODR7
#define LCD_RES PD_ODR_bit.ODR4

void LCD_WriteIndex(unsigned int index){
    LCD_RS = 0; // Тип даних - команда (в даному випадку адреса)
    LCD_RD = 1; // При записи RD повинен бути стопудово дорівнює 1, а щось не
    запише
    PB_ODR = (index & 0x00FF); // Виставляємо молодшу частину адреси на шину
    PF_ODR = ((index & 0xFF00) >> 8); // і старшу
    LCD_WR = 0; //
    delay_us(5); LCD_WR = 1;
}

// Процедура запису даних в регістр або ОЗУ void LCD_WriteData(unsigned int
data){ LCD_RS = 1;
    PB_ODR = (data & 0x00FF);
    PF_ODR = ((data & 0xFF00) >> 8);
    LCD_WR = 0; // Строб delay_us(5);
    LCD_WR = 1;
}

// Процедура читання даних з регістрів і ОЗУ unsigned int LCD_ReadData(void){
unsigned int value=0;
    LCD_RS = 1;
    LCD_WR = 1; // Висновок записи повинен бути стопудово в 1 PB_DDR = 0x00; //
Переводим шину даних на ввід PF_DDR = 0x00;
```

```

LCD_RD = 0; // Виставляємо сигнал читання delay_us(5); // Чекаємо установки
даних на шині
// Це стане в нагоді, якщо драйвер використовувати під STM32 з великою
частотою шини
value = PF_IDR; // Читаємо старший байт
value <=< 8; // Рухаємо його вліво на 8 розрядів
value += PB_IDR; // Читаємо молодший байт
LCD_RD = 1; // Скидаємо лінію RD
PB_DDR = 0xFF; // Переводимо шину даних на висновок
PF_DDR = 0xFF;
return value;
}
// Процедура запису даних в регістр
// Дуже корисна при ініціалізації
void LCD_WriteReg(unsigned int LCD_Reg, unsigned int LCD_RegValue)
{
LCD_CS = 0; // Активуємо Chip Select
LCD_WriteIndex(LCD_Reg); // адресу регістра LCD_WriteData(LCD_RegValue); //
Пишем в нього дані
LCD_CS = 1; // Деактивуємо Chip Select
}
// Процедура читання з регістра або ОЗУ
unsigned int LCD_ReadReg(unsigned int LCD_Reg)
{ unsigned int reg_val;
LCD_CS = 0; // активуємо Chip Select LCD_WriteIndex(LCD_Reg); // Пишем адрес
регістра reg_val = LCD_ReadData(); // Читаем данные из регистра LCD_CS = 1; //
Деактивуємо Chip Select
return reg_val;
}
// Процедура установки адресних регістрів контролера дисплея void
LCD_SetCursor(unsigned int Xpos, unsigned int Ypos )
{ extern unsigned int X; // Ці дві змінні у мене глобальні

```

```

extern unsigned char Y; // від них ведеться відлік для наступного виведення букв
X = Xpos; // Оновлюємо їх новими значеннями
Y = Ypos;
LCD_WriteReg(0x004e, Ypos ); // Записуємо нові значення в лічильники рядків
LCD_WriteReg(0x004f, Xpos ); // і стовпців
}
// - ініціалізація дисплея
void LCD_Initialization(void){
delay_ms(100); // Вичікуємо деякий час (може знадобитися
на високих частотах)
LCD_RES = 1;
// деактивувавши апаратне скидання, який був активований при налаштуванні
портів МК
// Тепер записуємо дані для настройки контролера дисплея
// Ці параметри я брав в інтернеті. Спочатку відбувається
настроювання внутрішнього перетворювача
// для живлення скельця. Ці параметри я змінювати не раджу ...
LCD_WriteReg(0x0028,0x0006); // VCOM OTP
LCD_WriteReg(0x0000,0x0001); // Oscillation start LCD_WriteReg(0x0003,0xaea4);
// power control 1---line frequency and VH, VGL voltage
LCD_WriteReg(0x000c,0x0004); // power control 2---VCIX2 output voltage
LCD_WriteReg(0x000d,0x000c); // power control 3---Vlcd63 voltage
LCD_WriteReg(0x000e,0x2800); // powercontrol 4---VCOMA
voltage VCOML=VCOMH*0.9475-VCOMA
LCD_WriteReg(0x001e,0x00b5); // POWER CONTROL 5---VCOMH voltage
// Наступні параметри описані в ДШ на стор. 30-31. Вони визначають порядок
сканування рядків,
// порядок виведення квітів та ін. LCD_WriteReg(0x0001,0x3B3F); // Driver Output
Control
// Следующюю строку також менять не советую LCD_WriteReg(0x0002,0x0600); //
LCD Drive AC Control
// Регістр управління режимом Sleep. Може знадобитися для пристроїв

```

з батарейним живлення

```
// Для довідки: Дисплей споживає від 2,5 до 8 мА в активному режимі
// і від 70 до 300 мкА в сплячому (стор. 63 ДШ) LCD_WriteReg(0x0010,0x0000);
// Sleep Mode
// Режим позиціонування і напрямки сканування дисплея.
// Для даних значень при розташуванні дисплея в Landscape контролер справа
// нижній лівий кут матиме координати 0,0
// Я такі значення застосував для виведення зображень з BMP файлів

// Для Portrait положення дисплея рядок буде мати вигляд LCD_WriteReg
(0x0011,0x6830);\
// Більш докладно з даної установці можна прочитати на стор. 43-46 ДШ
LCD_WriteReg(0x0011,0x6838); // Entry Mode
// Не нашел этих параметров в ДШ, но переписывать не стал...
LCD_WriteReg(0x0005,0x0000); // ???
LCD_WriteReg(0x0006,0x0000); // ??? LCD_WriteReg(0x0016,0xef1c); // ???
// Следующие настройки можно посмотреть на стр. 39 ДШ
LCD_WriteReg(0x0007,0x0033); // Display control 1
/* when GON=1 and DTE=0,all gate outputs become VGL */
/* when GON=1 and DTE=0,all gate outputs become VGH */
/* non-selected gate wires become VGL */
// Далі розташовані настройки розміри видимої частини дисплея. Їх можна
змінювати
// по ходу роботи при необхідності виведення в певну область екран а
LCD_WriteReg(0x000b,0x0000); // Frame Cycle Control
LCD_WriteReg(0x000f,0x0000); // Gate Scan Start Position
LCD_WriteReg(0x0041,0x0000); // Vertical Scroll Control 1
LCD_WriteReg(0x0042,0x0000); // Vertical Scroll Control 2
LCD_WriteReg(0x0048,0x0000); // First Window Start
LCD_WriteReg(0x0049,0x013f); // First Window End
LCD_WriteReg(0x004a,0x0000); // Second Window Start
LCD_WriteReg(0x004b,0x0000); // Second Window End
```



```
LCD_WriteReg(0x0044,0xef00); // Horizontal RAM start and end address
LCD_WriteReg(0x0045,0x0000); // Vertical RAM start address
LCD_WriteReg(0x0046,0x013f); // Vertical RAM end address
// // Лічильники рядків і стовпців. Я їх міняю функцією LCD_SetCursor
LCD_WriteReg(0x004e,0x0000); // Set GDDRAM X address counter
LCD_WriteReg(0x004f,0x0000); // Set GDDRAM Y address counter
// Управління гамою кольорів. Для запобігання спотворення не рекомендую
міняти їх
LCD_WriteReg(0x0030,0x0707);
LCD_WriteReg(0x0031,0x0202);
LCD_WriteReg(0x0032,0x0204);
LCD_WriteReg(0x0033,0x0502);
LCD_WriteReg(0x0034,0x0507);
LCD_WriteReg(0x0035,0x0204);
LCD_WriteReg(0x0036,0x0204);
LCD_WriteReg(0x0037,0x0502);
LCD_WriteReg(0x003a,0x0302);
LCD_WriteReg(0x003b,0x0302);
LCD_WriteReg(0x0023,0x0000);
LCD_WriteReg(0x0024,0x0000);
LCD_WriteReg(0x0025,0x8000);
LCD_WriteReg(0x0026,0x7000);
LCD_WriteReg(0x0020,0xb0eb);
LCD_WriteReg(0x0027,0x007c);
// // Після виконання цієї процедури дисплей повинен включитися і на екрані
з'явиться
// сміття у вигляді випадковим чином засвічених точок} void LCD_Pset(unsigned
int color){
}
// Функція очищення дисплея заливає весь екран кольором, зазначеним в
аргументі Color
void LCD_Clear(unsigned int Color){ unsigned long index=0;
```

```

LCD_SetCursor(0,0); // Встановлюємо курсор в початок
LCD_CS = 0;      // Тут запис організована "атомарному" для прискорення
процедури
LCD_WriteIndex(0x0022); // Запис цієї адреси в регістр індексу означає, що
// зараз будуть виводитися дані в екранне ОЗУ
// Як себе будуть вести лічильники рядків і стовпців визначається
// регістром з адресою 0x0011
for(index=0;index < 0x12C00;index++){ // цикл з кількістю ітерацій 320 * 240
LCD_WriteData(Color); // ставимо крапки заданого кольору
}
LCD_CS = 1;      // Відчіплюватися від дисплея
}
// Одна з найскладніших функцій - висновок букви в
// поточну позицію дисплея
void LCD_Putchar(unsigned char chr){ //
Аргумент - код літери
unsigned char i, a, tmp; unsigned int addr;
extern unsigned int paper, ink; // Глобальні змінні - колір фону і букви
extern unsigned int X; // Глобальні змінні позиції букви
extern unsigned char Y;
switch(chr){ // Так я організував перехід на новий рядок case 10:
Y -= 9;
break;
case 13: // І "повернення каретки" X = 3;
break; default:
addr = chr << 3;
tmp = Y; // зберігаємо позицію для повернення при відображенні нового рядка
точок
for(i=0;i<8;i++){ // Лічильник рядки знакомісця LCD_WriteReg(0x004e,Y); //
Установка координати Y LCD_CS = 0; // Виводимо рядок точок
LCD_WriteIndex(0x0022);
for(a=0;a<8;a++){ // Лічильник стовпців знакомісця
if(NewFont8x8[addr+a]&(0x80>>i)){ // Якщо в знакомісць точка = 1

```

```

LCD_WriteData(ink);    // Виводимо колір ink
}else{
LCD_WriteData(paper); // Інакше колір фону
}
}
LCD_CS = 1;
Y++; // Переход на новий рядок знакомісця
}
Y = tmp; // Відновлюємо значення букви по вертикалі
//    Нижче розташовано обчислення ширини букви для більш
щільного розташування тексту на екрані
i = 3;
for(a=7;a!=0;a--){ if(NewFont8x8[addr+a] != 0x00){ i = a + 2;
break;
}
}
// Зміни в порядку проведення новий рядок если досяглі правого краю екрана X
+= i;
if(X > 310){
Y -= 9;
X = 3;
}
break;
}
LCD_SetCursor(X, Y); // Координати слід зберегти для виведення подальшого
символу
}
// Виведення рядка на екран. Як аргумент - покажчик на рядок void
LCD_PutString(char* str){//
unsigned int i=0; while(str[i]){ // LCD_Putchar(str[i]); i++;
}
}
}

```

```

// зважаючи на наявність строкових констант void putString(const char* str){//
unsigned int i=0; while(str[i]){ LCD_Putchar(str[i]); i++;
}
}

//driver

#define LCD_CS PH_ODR_bit.ODR4
#define LCD_RS PH_ODR_bit.ODR5
#define LCD_WR PH_ODR_bit.ODR6
#define LCD_RD PH_ODR_bit.ODR7
#define LCD_RES PD_ODR_bit.ODR4

#include "NewFont.h" void strobe (void){ LCD_WR = 0;
LCD_WR = 1;
}

void lcd_to_out(void){ LCD_CS = 0;
LCD_RS = 0; PB_ODR = 0x00;
strobe(); PB_ODR = 0x22;
strobe(); LCD_RS = 1;
}

void write(unsigned char addr, unsigned int data){ LCD_CS = 0;

PB_ODR = 0x00; LCD_RS = 0;
strobe();

PB_ODR = addr; LCD_RS = 0;
strobe();
PB_ODR = ((data & 0xFF00) >> 8); LCD_RS = 1;
strobe();
PB_ODR = (data & 0x00FF); strobe();

LCD_CS = 1;
}

void LCD_init(void){ LCD_RES = 0;

```

```

delay_ms(10); LCD_RES = 1;
write(0x11, 0x0018); write(0x12, 0x0000); write(0x13, 0x0063); write(0x14, 0x556A);
write(0x10, 0x0800); delay_ms(10); write(0x11, 0x0118); delay_ms(10); write(0x11,
0x0318); delay_ms(10); write(0x11, 0x0F18); delay_ms(10); write(0x11, 0x0F38);
delay_ms(10); write(0x07, 0x0012); write(0x07, 0x001A); write(0x01, 0x011C);
write(0x03, 0x1230); write(0x07, 0x0000); write(0x08, 0x0808); write(0x15, 0x0020);
write(0x36, 0x00AF); write(0x37, 0x0000); write(0x38, 0x00DB); write(0x39, 0x0000);
write(0x50, 0x0001); write(0x51, 0x0208); write(0x52, 0x0805); write(0x53, 0x0404);
write(0x54, 0x0c0c); write(0x55, 0x000c); write(0x56, 0x0100); write(0x57, 0x0400);
write(0x58, 0x1108); write(0x59, 0x050c); write(0x0F, 0x0F01); write(0x07, 0x0012);
write(0x07, 0x0017);

}

void lcd_clear(void){ unsigned int i; lcd_to_out(); for(i=0;i<38720;i++){ PB_ODR =
0x00;
strobe(); PB_ODR = 0xFF;
strobe(); PB_ODR = 0xFF;
strobe();
}
LCD_CS = 1;
}

void pset(unsigned long color){ unsigned char temp;
temp = (color >> 16) & 0xFF; PB_ODR = temp; // RED strobe();
temp = (color >> 8) & 0xFF; PB_ODR = temp; // GREEN strobe();
temp = color & 0xFF;
PB_ODR = temp; // BLUE strobe();
}

void lprint(unsigned char chr){ unsigned char row, col, ha, la, i, wdt; unsigned char
temp;
unsigned char fnt[8];
extern unsigned char bywidth; extern unsigned char X, Y;
if(bywidth){ // Якщо включений висновок символів по ширині I2C1_Start();

```

```

I2C1_Write(0xA0);
I2C1_Write(0x00); I2C1_Write(chr); I2C1_Start(); I2C1_Write(0xA1);
wdt = I2C1_Read(0);    // Змінної присвоюємо значення ширини символу
I2C1_Stop();
}else{
wdt = 7;    // Інакше - моно в 8 стовпців }
wdt++;    // Це для одного порожнього стовпчика, щоб символи не зливалися
*/
wdt = 7;

if((X + wdt) > 175){    // Якщо Символ не влізе в рядок (останній) X = 0;    //
повернення каретки
Y++;    // Перенесення рядка if(Y > 26){    // Якщо рядок остання
Y = 0;    // -> HOME
lcd_clear(); // очищення дисплея
}
}
temp = X; LCD_CS = 1;
write(0x37, X);    // HSA - Horizontal Start Address X = X + wdt;
write(0x36, X);    // HEA - Horizontal End Address write(0x39, 0x0000 + (Y << 3));
write(0x38, 0x0007 + (Y << 3));

write(0x20, temp); //X write(0x21, 0x0000 + (Y << 3)); //Y ha = ((chr & 0xE0) >> 5)
+ 1;
la = (chr & 0x1F) << 3; for(i=0;i<wdt;i++){ I2C1_Start(); I2C1_Write(0xA0);
I2C1_Write(ha); I2C1_Write(la+i); I2C1_Start(); I2C1_Write(0xA1); fnt[i] =
I2C1_Read(0); I2C1_Stop();
}

lcd_to_out(); fnt[wdt] = 0x00;
for(row=0;row<8;row++){    // лічильник рядків for(col=0;col<(wdt+1);col++){
    // лічильник стовпців if(fnt[col] & (1 << row)){

```

```

pset(0x00FFFF00);
} else { pset(0x00000000);
}
}
}
}
LCD_CS = 0;
}

```

```

void putl(const char* str){ int i;
//int a;
//a = strlen(str);
for(i = 0; i < 20; ++i){ lprint(str[i]);
}
}

```

```

void point(int x, int y, long color){ write(0x20, x);
write(0x21, y); lcd_to_out(); pset(0x000000FF);
}

```

```

/* Допоміжна функція, друкує точки, що визначають коло */
void plot_circle(int x, int y, int x_center, int y_center, long color_code){
point(x_center+x,y_center+y,color_code);
point(x_center+x,y_center-y,color_code); point(x_center-x,y_center+y,color_code);
point(x_center-x,y_center-y,color_code);
}

```

```

/* Креслення кола з використанням алгоритму Брезенхема */ void circle(int
x_center, int y_center, int radius, long color_code){ int x,y,delta;
LCD_CS = 0;
write(0x36, 0x00AF); write(0x37, 0x0000); write(0x38, 0x00DB); write(0x39, 0x0000);
x = 0;
y = radius; delta=3-2*radius; while(x<y) {
plot_circle(x,y,x_center,y_center,color_code); plot_circle(y,x,x_center,y_center,color_code); if
(delta<0){

```

```
delta+=4*x+6;
} else {
delta+=4*(x-y)+10;
y--;
} x++;
}
if(x==y) plot_circle(x,y,x_center,y_center,color_code); LCD_CS = 1;
}
```


ДОДАТОК Б

[illegible]